



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL**

RAFAEL CARVALHO NEVES

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO NO PORTO DE TUBARÃO, VITÓRIA-ES

**VITÓRIA
2021**

RAFAEL CARVALHO NEVES

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO NO
PORTO DE TUBARÃO, VITÓRIA-ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria da Silva Quaresma.

Co-orientadora: Dra. Caroline Fiório Grilo.

VITÓRIA
2021

RAFAEL CARVALHO NEVES

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO NO PORTO DE TUBARÃO, VITÓRIA-ES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dra. Valéria da Silva Quaresma – Orientadora
Universidade Federal do Espírito Santo / UFES

Prof. Dr. Fabian Sá
Universidade Federal do Espírito Santo / UFES

Prof. Dr. Marcos Nicolás Gallo
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e
Pesquisa de Engenharia / COPPE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, dedico esse estudo a mim por ter encarado o desafio de retornar a academia, depois de 8 anos no mercado de trabalho, em busca de motivação, novos conhecimentos e reencontro da minha essência como profissional. Agradeço a minha orientadora Valéria Quaresma e o prof. Alex Bastos por terem sido tão acolhedores desde a primeira conversa! Vocês são exemplo como educadores e o LaboGeo acaba se tornando uma segunda casa para todos que passam por lá, não só pela seriedade e importância do trabalho de vocês, mas principalmente pelo clima harmônico e acolhedor entre todos os companheiros de laboratório. Obrigado a Profa. Jac e ao Prof. Fabian pela disponibilidade em participar da minha comissão avaliadora e pelas críticas positivas!

Agradeço imensamente a minha esposa Priscila por partilhar essa caminhada comigo sempre com uma palavra de incentivo, participando das minhas reflexões pessoais e profissionais, bem como me apoiando nas decisões. Gratidão ao meu filho Luigi pelos momentos revigorantes de pura alegria e amor com a nossa família no retorno para casa. Vocês são meu porto seguro sempre! Amo vocês! Agradeço também aos meus pais Katia e William pelo incentivo.

Um agradecimento especial a Caroline Grilo e Kyssyanne pelas orientações e direcionamentos nos momentos chave do estudo. A experiência e conhecimento teórico de vocês fizeram a diferença para as minhas corretas escolhas e interpretações ao longo da pesquisa. Também sou imensamente grato a todas as meninas do laboratório de Sedimentologia (Lívia, Anita, Flávia, Mayara, Karen, Raiana, Jessica e Lorena) por todo apoio no processamento das amostras de sedimento, paciência e aprendizado compartilhado. Um grande abraço para a galera (Xavier, Adeildo, Geandré, Lara e João) que me apoiou na realização dos três campos para coleta de amostras. Também agradeço o apoio do Eduardo do LabGam durante as análises elementares no sedimento.

Por fim, agradeço o financiamento do projeto SEDPORTOS pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo (FAPES), através do edital FAPES/VALE/FAPERJ Nº 01/2015 – Pelotização, Meio Ambiente e Logística, além do pronto atendimento e fornecimento dos dados batimétricos e hidrodinâmicos utilizados no presente estudo pela Danielly Falqueto (Vale), Izabel Nogueira (COPPETEC) e empresa UMI SAN Hidrografia e Engenharia.

RESUMO

Tendo em vista a importância das vias navegáveis e portos brasileiros para o comércio exterior do país, além da crescente demanda por melhoria da infraestrutura portuária para aumento da competitividade do Brasil perante o mundo, a presente dissertação tem como objetivo principal avaliar o processo de assoreamento no Porto de Tubarão, Vitória-ES. Por realizar dragagens de manutenção periódicas para manter a sua área marítima navegável, esse porto necessita de um aprimoramento no entendimento da dinâmica sedimentar da região, de modo a fornecer embasamento científico para discussões como planejamento de obras de dragagem e segurança da navegação.

A partir da análise integrada de dados históricos de pluviometria de Vitória-ES, vazão do rio Santa Maria da Vitória, hidrodinâmicos e sedimentares da Baía de Vitória (BV) e Baía do Espírito Santo (BES), bem como avaliação da evolução batimétrica entre 2015 e 2018 no Porto de Tubarão, foi possível identificar o fluxo resultante da BV para a BES como a principal fonte de material sedimentar na região. Durante o período de baixa pluviosidade, entre junho de 2015 e abril de 2017, houve uma menor taxa de assoreamento na área do porto (0,02 m/ano) decorrente do pequeno aporte de material sedimentar da BV e região costeira adjacente, enquanto entre maio de 2017 e abril de 2018, foi observada a maior taxa de assoreamento na área do porto (0,35 m/ano) em função da maior pluviosidade e atuação de correntes resultantes preferencialmente para NE/E na BES, associadas à elevação da frequência da incidência de ondas de SE/S.

Os resultados sedimentológicos e geoquímicos das 91 amostras de sedimento superficial coletadas na BES e adjacências passaram por análises de agrupamento de observações (*cluster analysis*) com separação das amostras em 4 grupos estatisticamente diferentes. Os elevados teores de MO, COT, NT e $\delta^{15}\text{N}$ e Razão C/N observados em grande parte da BV e Canal da Passagem (CP) sugerem o predomínio de sedimento terrígeno altamente antropizado na região. Na BES, grande parte do sedimento encontrado na porção interna da baía perto da Praia de Camburi fica restrita nessa região devido atuação do alto-fundo, presente na porção central da BES, como um obstáculo para a efetiva troca de sedimento entre as áreas mais interna e externa da baía. Na porção central e externa da BES, há uma clara mistura entre o sedimento terrígeno, oriundo da BV, e marinho. Os elevados valores de COT e NT presentes no sedimento lamoso dentro do canal do Porto de Tubarão também sugerem a contribuição da MO e material fino advinda da BV no canal do porto.

Os resultados e as discussões apresentadas nesse estudo evidenciam a importância do monitoramento contínuo dos parâmetros meteo-oceanográficos e de qualidade do sedimento como base para o entendimento da complexa dinâmica sedimentar observada nas regiões portuárias.

Palavras-chave: assoreamento, hidrodinâmica, batimetria, sedimentologia, geoquímica, isótopos, agrupamento de observações, portos, dragagem.

ABSTRACT

The importance of Brazilian waterways and ports for the country's foreign trade and the growing demand for improving port infrastructure to increase Brazil's competitiveness in the world inspired the main objective of this study to evaluate the siltation process in the Tubarão Port, Vitória-ES. Due periodic maintenance dredging necessity to keep its maritime area navigable, the understanding improvement of sedimentary dynamics in Tubarão Port area is imperative, in order to provide scientific basis for discussions, such as planning dredging projects and navigation safety.

Starting from the integrated analysis of historical precipitation in Vitória-ES, flow in the Santa Maria da Vitória River and hydrodynamic and sedimentary data from Vitória Bay (BV) and Espírito Santo Bay (BES) and later integrating with bathymetric evolution between 2015 and 2018 at Tubarão Port, it was possible to identify the resulting flow from BV to BES as the main source of sedimentary material in the region. During the low precipitation period, between June 2015 and April 2017, there was a lower siltation rate in the port area (0.02 m/year) due the small sedimentary material supply from BV and the adjacent coastal region. While between May 2017 and April 2018, the highest siltation rate was observed in the port area (0.35 m/year) due the increased rainfall and currents acting preferentially to NE/E at BES, associated with rise of SE/S waves frequency.

The sedimentological and geochemical results of the 91 superficial sediment samples collected at BES and the surrounding areas were analyzed by Cluster Analysis with distribution the samples into 4 statistically different groups. The high levels of organic matter (MO), total organic carbon (COT), total nitrogen (NT) and nitrogen stable isotope ($\delta^{15}\text{N}$), such as high carbon to nitrogen (C/N) ratio observed in all BV and Passagem Channel (CP) areas suggest the anthropized terrestrial sediment predominance in this region. At BES, the sediment found in inner portion near Camburi beach is trapped in this region due the action of rock outcrop, present in the central region, as an obstacle to sediment effective exchange between the innermost and outside bay areas. In central and external areas of BES, there is a mix between marine and terrestrial sediment from BV. The COT and NT high values found in the sediment inside the port's channel also suggest the MO and fine sediment contribution from BV to the Tubarão Port area.

Results and discussions presented in this study show the continuous meteo-oceanographic and sediment quality monitoring importance as basis for understanding the complex sediment dynamics observed in port regions.

Keywords: *siltation in harbor, hydrodynamics, bathymetry, sedimentology, geochemistry, isotopes, cluster analysis, ports, dredging.*

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Precipitação acumulada em Vitória/ES e vazão média do rio SMVT nos períodos de coleta dos transectos de corrente na BV.	25
Tabela 2 - Taxas de assoreamento calculadas para o Porto de Tubarão em diferentes períodos.....	34
Tabela 3 – Mobilidade do sedimento superficial do Porto de Tubarão, calculada a partir da equação de Taki (2001) para sedimentos coesivos.....	36
Tabela 4 – Correlação não-paramétrica de Spearman realizada entre os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos analisados no sedimento superficial da área de estudo. Os números com forte correlação (> 0,5) então sublinhados, enquanto os valores com muito forte correlação (> 0,7) estão em negrito.	71
Tabela 5 – Valores das medianas dos parâmetros analisados para cada grupo. Os maiores e menores valores encontrados foram deixados em negrito e sublinhados, respectivamente, para cada variável.	72
Tabela 6 – Resultados das análises sedimentológicas e geoquímicas no sedimento superficial do Porto de Tubarão, Vitória-ES.....	90

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Localização do Porto de Tubarão.....	14
Figura 2 – Delimitação da geometria onde os dados batimétricos históricos foram comparados no Porto de Tubarão.	21
Figura 3 - Perfis resultantes da velocidade e direção das correntes observadas na desembocadura da BV nos períodos chuvoso (a) e seco (b).	26
Figura 4 – Padrão de altura significativa e período de pico das ondas observadas pelo ADCP4 (a) localizado na entrada da BES e ADCP10 (b) situado na parte central da BES. O período de amostragem ocorreu entre fevereiro de 2019 a julho de 2020.....	28
Figura 5 – Padrão de correntes médias observadas no ADCP4 entre março de 2019 a julho de 2020 ao longo da coluna d'água (superfície, meio e fundo).....	29
Figura 6 – Padrão de correntes médias observadas no ADCP10 entre março de 2019 a julho de 2020 ao longo da coluna d'água (superfície, meio e fundo), sendo: (a) durante a atuação de ondas incidentes de E-SE e (b) para durante ondas incidentes de SE-S.	30
Figura 7 – Perfis de velocidade e direção das correntes BES durante o período chuvoso com atuação de ondas de SE-S e seco com atuação de ondas de E-SE.	31
Figura 8 – Levantamento batimétrico de junho de 2015 no Porto de Tubarão após a dragagem de manutenção	33
Figura 9 – Espessura de sedimento colmatado no Porto de Tubarão entre julho de 2015 a abril de 2018.....	35
Figura 10 – Velocidade ao longo da costa na desembocadura da BV durante o período chuvoso na maré vazante (a) e enchente (b)	38
Figura 11 – Velocidade ao longo da costa na desembocadura da BV durante o período seco na maré vazante (a) e enchente (b)	39
Figura 12 – Integração dos dados hidrodinâmicos coletados entre março de 2019 e julho de 2020 na entrada da Baía do Espírito Santo pelo ADCP4	43
Figura 13 – Perfis de velocidade das correntes perpendiculares e paralelas ao Canal de Acesso do Porto de Tubarão, durante as marés vazante (a) e enchente (b) do dia 16/05/2018.....	44
Figura 14 – Perfis de profundidade traçados no talude entre a sobrebaía e Baía de Evolução (a,c) e no talude do Canal de Acesso (b), conforme localizações apresentadas na Fig. 4.....	47

Figura 15 – Padrão de altura significativa e período de pico das ondas observadas pelo ADCP4 localizado na entrada da BES entre (a) julho de 2015 a abril de 2017 e (b) maio de 2017 a abril de 2018.	49
Figura 16 – Circulação resultante na BES e BV em condições de onda de E-SE e baixa pluviosidade (a), e sob influência de ondas de SE-S e alta pluviosidade (b).....	50
Figura 17 – Localização das amostras de sedimento superficial identificadas por grupo de análise, formados a partir da região de coleta de cada amostra.	55
Figura 18 – Densidade do sedimento superficial na área de estudo.	58
Figura 19 – Teor de lama no sedimento superficial da área de estudo.	59
Figura 20 – Teor de matéria orgânica no sedimento superficial da área de estudo.	60
Figura 21 – Composição do sedimento superficial da área de estudo quanto ao teor de CaCO_3	61
Figura 22 – Fração de massa de carbono orgânico total no sedimento superficial da área de estudo.....	62
Figura 23 – Fração de massa de nitrogênio total no sedimento superficial da área de estudo.....	62
Figura 24 – Razão C/N no sedimento superficial da área de estudo.....	63
Figura 25 – Distribuição espacial dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ no sedimento superficial da área de estudo.....	64
Figura 26 – Distribuição espacial dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ no sedimento superficial da área de estudo.....	64
Figura 27 – Correlação entre o COT e NT encontrado no sedimento superficial da região da BES, BV e CP.....	66
Figura 28 – Relação entre $\delta^{13}\text{C}$ e a Razão C/N no sedimento superficial da área de estudo.....	67
Figura 29 – Relação entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no sedimento superficial da área de estudo.	69
Figura 30 – Boxplot com a variação dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos para os quatro grupos formados.....	71
Figura 31 – Dendograma com a distribuição das amostras nos agrupamentos formados.....	72
Figura 32 – Distribuição espacial dos quatro grupos na área de estudo.	73

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	12
1. ÁREA DE ESTUDO	13
2. OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA.....	16
3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
CAPÍTULO 2: INFLUÊNCIA DA HIDRODINÂMICA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA BAIA DO ESPÍRITO SANTO NA VARIABILIDADE DO PADRÃO DE ASSOREAMENTO NO PORTO DE TUBARÃO, BRASIL	18
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
2.1 Dados de pluviosidade, vazão e vento.....	20
2.2 Histórico da hidrodinâmica	20
2.3 Cálculo da taxa de assoreamento	22
2.4 Ressuspensão e transporte do sedimento superficial	23
3. RESULTADOS	25
3.1. Fluxos entre Baía de Vitória e Baía do Espírito Santo.....	25
3.2. Hidrodinâmica da Baía do Espírito Santo	27
3.3. Espessura do sedimento e taxa de assoreamento	32
3.4. Mobilidade do sedimento superficial	36
4. DISCUSSÃO.....	37
4.1 Aporte sedimentar da Baía de Vitória na Baía do Espírito Santo	37
4.2 Padrão de circulação da Baía do Espírito Santo	40
4.3 Influência do alto-fundo na hidrodinâmica local.....	41
4.4 Assoreamento no Porto de Tubarão.....	45
5. CONCLUSÃO	51

CAPÍTULO 3: PROVENIÊNCIA DOS SEDIMENTOS FINOS NO PORTO DE TUBARÃO, BRASIL.....	53
1. INTRODUÇÃO.....	53
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
2.1 Coleta e análises sedimentares	54
2.2 Técnicas analíticas da geoquímica.....	56
2.3 Análise dos dados	57
3. RESULTADOS	57
3.1. Parâmetros sedimentológicos	57
3.2. Marcadores geoquímicos	61
4. DISCUSSÃO.....	65
4.1 Análise de agrupamento.....	70
4.2 Fontes da matéria orgânica e sedimento superficial	74
5. CONCLUSÃO	76
CAPÍTULO 4: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXO I	80

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 42.000 km de rios navegáveis e quase 7.500 km de costa com 34 portos públicos organizados e outros 181 terminais espalhados pela região costeira e áreas fluviais (ANTAQ, 2019). O comércio por via marítima representou mais de 77% do comércio exterior do Brasil no primeiro semestre de 2019, contabilizando aproximadamente R\$28,7 bilhões de balança comercial positiva para o país no mesmo período (ATP, 2019). No total, entorno de 1,104 bilhões de toneladas de carga foram movimentadas pela navegação marítima e fluvial em 2019 no país.

Entretanto, segundo o relatório global de competitividade de 2020 do Fórum Econômico Mundial, o Brasil ocupa somente a posição 91^a na eficiência dos serviços portuários (WEF, 2020). Portanto, a melhoria da infraestrutura portuária do Brasil é fundamental para o aumento da competitividade e maior desenvolvimento do comércio exterior e de cabotagem por via fluvial e marítima. Além disso, como o transporte por navio possui a melhor relação entre consumo de combustível por tonelada de carga (English e Hackston, 2013), há uma tendência mundial de construção de navios maiores para redução do custo do frete e a consequente demanda por adequação das vias navegáveis dos portos brasileiros.

A manutenção da profundidade de boa parte das vias de navegação brasileiras é realizada através de dragagens periódicas, devido ao processo de assoreamento, sendo este um dos principais desafios de infraestrutura dos portos brasileiros para manutenção da navegabilidade segura em Canais de Navegação, Berços e Bacias de Evolução (IPEA, 2009). Além do alto custo das obras de dragagem e derrocamento para retirada de sedimentos e rochas, respectivamente, essas intervenções geram grandes conflitos ambientais e sociais, principalmente relacionados ao nível de contaminação do material dragado. A ressuspensão do sedimento, local de despejo e posterior retrabalhamento desse material pela hidrodinâmica local podem causar impactos negativos à biota aquática e afetar a qualidade de vida de atores regionais, como pescadores, moradores e turistas (Theodoro, 2005).

Tendo em vista o panorama apresentado, a importância do desenvolvimento de estudos que visem entender os processos responsáveis pelo transporte e deposição de

sedimentos nas áreas portuárias vai além do fornecimento de informações para um melhor planejamento das obras de dragagem e derrocagem, mas também são estratégicos para o adequado embasamento técnico de projetos de construção e ampliação de áreas portuárias, bem como contribuição fundamental para tomada das melhores decisões, visando à diminuição dos impactos ambientais e sociais à comunidade local.

A compreensão dos processos atuantes nos ambientes costeiros é um desafio, devido à interação complexa de ondas, marés, correntes, morfologia do fundo e processos atmosféricos (Martins et al., 2004). A ação conjunta desses fatores influencia a capacidade de erosão, transporte e conseqüentemente a distribuição espacial do sedimento e de suas propriedades. O conhecimento dos padrões hidrodinâmicos, juntamente com as características do sedimento e a evolução da morfologia de fundo são fundamentais para a correta compreensão das tendências de transporte de sedimento em áreas costeiras, bem como o mapeamento de possíveis regiões de deposição e erosão. O estudo de marcadores geoquímicos no sedimento superficial, como Razão C/N e isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e o $\delta^{15}\text{N}$, também é considerada uma importante ferramenta auxiliar no conhecimento da dinâmica da matéria orgânica transportada e depositada em áreas costeiras, principalmente junto aos sedimentos finos (Santos et al., 2013).

1. ÁREA DE ESTUDO

O Porto de Tubarão é um dos três maiores portos do Brasil em termos de comercialização de carga e está situado na Baía do Espírito Santo (BES), Estado do Espírito Santo, onde se localiza a Praia de Camburi e os bairros com maior valor de mercado do Estado (Fig. 1). Essa região é considerada um setor costeiro caracterizado pela presença de afloramentos rochosos cristalinos Pré-Cambrianos e o seu contato direto com sedimentos Quaternários, além de curtos trechos de costa marcados pela presença de falésias terciárias da Formação Barreiras, terraços de abrasão e concreções lateríticas submersas (Martin et al., 1996; Albino et al., 2018).

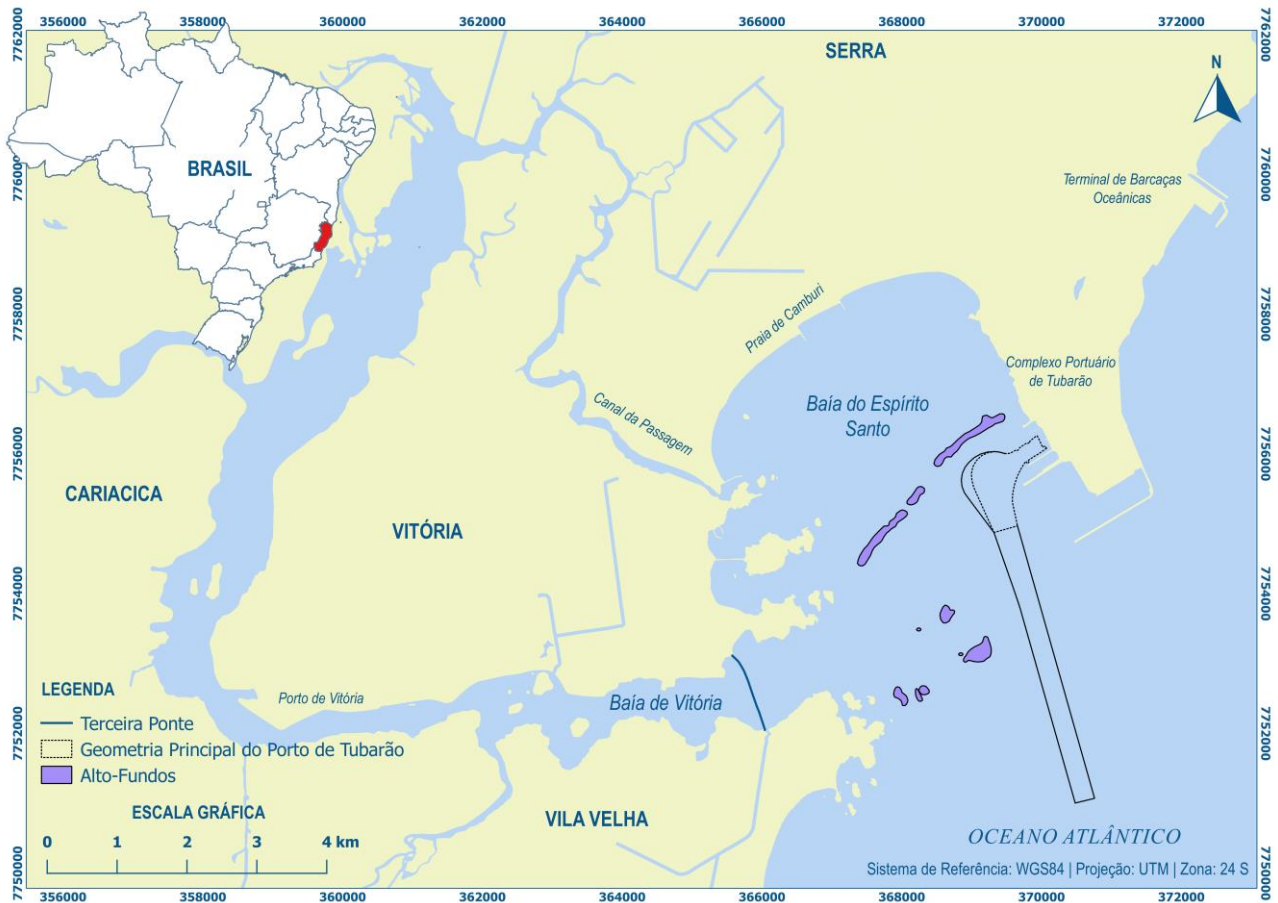


Figura 1 - Localização do Porto de Tubarão. A área principal do porto é apresentada pela linha pontilhada preta. Os alto-fundos presentes na BES são representados pelos polígonos roxos e foram delimitados a partir da carta náutica atualizada da região.

A partir da Tábua de Maré para o Porto de Tubarão, fornecida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, observa-se uma micromaré atuante na região com amplitudes máximas de 1,70m (DHN, 2020). Quanto à pluviosidade, INCAPER (2020) apresenta uma média de precipitação de 1350 mm/ano para a área de estudo, com meses de verão mais chuvosos e meses de inverno mais secos. O rio Santa Maria da Vitória é o principal afluente da Baía de Vitória (BV) e possui vazão natural média aproximada de $10,7 \text{ m}^3/\text{s}$, segundo (SOMA, 2003). Os ventos de E e NE são predominantes na região em decorrência da influência do Anticiclone do Atlântico Sul. Entretanto, a chegada de frentes polares é comum, principalmente no verão e primavera, e ventos de S-SE frequentemente são observados na região de estudo (Amarante et al., 2009).

Alguns estudos já desenvolvidos na região da BES e entorno fornecem um embasamento importante para a compreensão integrada da hidrodinâmica e dinâmica

sedimentar com as características morfológicas e sedimentares locais. Na BV, Veronez Júnior et al. (2009) observaram uma distribuição sedimentar predominante composta por lama com áreas arenosas encontradas principalmente nos estreitamentos. A partir de dados coletados próximo do Porto de Vitória, Neves et al. (2012) caracterizaram a BV como exportadora de material particulado em suspensão (MPS) e sedimento de fundo para a BES, principalmente em decorrência da fricção de fundo relacionada à assimetria da corrente de maré vazante existente nesse ambiente. Garonce e Quaresma (2014) verificaram uma assimetria de maré vazante, próximo à desembocadura da BV, e a alternância entre importação e exportação de MPS da BV para BES ao longo dos diferentes regimes pluviométricos e amplitudes de maré observados no período de estudo. No Canal da Passagem (CP), o qual também interliga o sistema estuarino da BV à região interna da BES (Fig. 1), Nascimento et al. (2013) também evidenciaram que a corrente de maré é a componente mais importante na hidrodinâmica local.

Na BES, Bastos et al. (2014) apresentaram uma morfologia geral de fundo com moderada a baixa declividade. Entretanto, o canal do Porto de Tubarão possui profundidade mantida através de dragagens periódicas do Canal de Acesso, Bacia de Evolução e píeres de atracação, visando à manutenção do calado do porto para atracação dos maiores navios graneleiros do mundo. Dessa forma, esse canal dragado também integra a morfologia geral encontrada na BES, juntamente com alto-fundos rochosos (embasamento cristalino e arenitos) observados principalmente na região central e sudoeste da baía (Fig. 1). Quanto à distribuição sedimentar, o fundo da BES é predominantemente caracterizado pela presença de areia fina e areia lamosa na parte mais interna da baía, além de predominância de areia média a grossa na região mais central e externa. No canal mais profundo do porto, sedimento lamoso é observado em quase toda a sua extensão (Bastos et al., 2014).

Quaresma et al. (2011) observaram uma grande deposição de lama fluida no canal do Porto de Tubarão através da utilização de métodos diretos e indiretos para mapeamento desses depósitos. Loureiro et al. (2013) também identificaram uma camada superficial lamosa em quase toda extensão do canal dragado do porto a partir da correlação entre dados geofísicos e geotécnicos.

Diferentemente da BV, não há uma predominância das correntes de maré na hidrodinâmica da BES, mas uma interação complexa entre ondas, marés, correntes e

intervenções antropogênicas (Neves et al., 2012). Albino et al. (2018) evidenciaram um padrão de ondas na plataforma continental em frente da BES com predominância de ondas de E-SE e alturas mais frequentes de 1,0-1,5m e Melo e Gonzalez (1995) observaram uma mudança no padrão de chegada das ondas na BES em decorrência da difração e refração causada pela presença do enrocamento e canal dragado do porto. Segundo Bastos et al. (2014), por ter a sua orientação voltada para sudeste, a chegada de ondas mais energéticas provenientes de frentes frias é o principal fator responsável pela remobilização e transporte de sedimento na BES.

Por se situar em uma área altamente urbanizada e industrializada com grandes deficiências no controle e tratamento sanitário/ambiental, a BES e BV são impactadas fortemente por descarga direta de esgoto doméstico, lixiviamento de resíduos sólidos, efluentes industriais e poluição atmosférica (Santos et al., 2017). Portanto, análises geoquímicas no sedimento também têm sido frequentemente realizadas em estudos para avaliação da origem da matéria orgânica (Lehrback et al., 2016), dos impactos da urbanização (Grilo et al., 2013; Costa et al., 2015) e seus efeitos na cadeia trófica (Joyeux et al., 2004; Souza et al., 2018), além de serem utilizados como base para o entendimento de variação relativa do mar local (Machado et al., 2018; Freitas et al., 2019).

2. OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA

O presente estudo tem como objetivo avaliar o processo de assoreamento no Porto de Tubarão. Para tanto, foram desenvolvidas análises da dinâmica sedimentar e dos padrões hidrodinâmicos e deposicionais da área de estudo para diferentes regimes pluviométricos e meteo-oceanográficos com dados coletados *in situ*. Além disso, análises sedimentológicas e geoquímicas do sedimento superficial da área de estudo e do seu entorno foram realizadas, com o intuito de avaliar a proveniência do material sedimentar depositado na área do porto.

O estudo dos processos responsáveis pelo assoreamento do Porto de Tubarão se torna necessário em decorrência da localização do empreendimento em área de grande importância social e ambiental para a comunidade local, bem como seu fundamental posicionamento econômico, logístico e estratégico para o Estado do Espírito Santo e Brasil. A consequente necessidade de dragagens de manutenção periódicas na área

navegável do porto, devido ao assoreamento, também corroboram a necessidade de um aprimoramento no entendimento da dinâmica da área de estudo, de modo a fornecer embasamento científico para discussões como planejamento de obras de dragagem e segurança da navegação. Adicionalmente, os resultados obtidos no presente estudo também contribuem com importantes informações para gerenciamento ambiental e sanitário do entorno da área de estudo, bem como gestão das bacias hidrográficas as quais possuem rios que desaguam na BV.

3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente estudo é parte do projeto *FAPES/VALE/FAPERJ Nº 01/2015 – Pelotização, Meio Ambiente e Logística* com o título de “*Dinâmica sedimentar em sistemas portuários: uma abordagem sistêmica e multidisciplinar (SEDPORTOS)*”.

Esse documento é estruturado em quatro capítulos, como descrito abaixo:

- Capítulo 1 – Essa seção introduz os motivos e os objetivos da pesquisa, além de apresentar estudos prévios na área de estudo e informações sobre a estrutura da dissertação.
- Capítulo 2 – Analisa a influência da variabilidade das condições pluviométricas, meteo-oceanográficas e da morfologia de fundo no assoreamento do canal do Porto de Tubarão, bem como o potencial de remobilização e dispersão dos sedimentos na área de estudo.
- Capítulo 3 – Este capítulo busca indicar as possíveis proveniências do sedimento depositado no canal do Porto de Tubarão, a partir da resposta geoquímica e sedimentológica do sedimento superficial da área de estudo e do seu entorno.
- Capítulo 4 – A última seção apresenta as considerações finais com o objetivo de integrar os resultados e conclusões apresentadas nos capítulos anteriores, além de indicar quais foram os principais processos analisados responsáveis pelo assoreamento da área do porto e sugerir estudos complementares futuros.
- Referências Bibliográficas – Lista de referências utilizadas no estudo.
- Anexos – Apresentação dos resultados das análises sedimentológicas e geoquímicas realizadas no sedimento superficial coletado na área de estudo.

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DA HIDRODINÂMICA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA BAÍA DO ESPÍRITO SANTO NA VARIABILIDADE DO PADRÃO DE ASSOREAMENTO NO PORTO DE TUBARÃO, BRASIL

1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas acústicos ativos e passivos para monitoramento das propriedades físicas, geológicas e biológicas dos corpos d'água vem permitindo o desenvolvimento de modelos de previsão complexos com cobertura espacial e temporal robustas para uma tomada de decisão eficiente em diversos ambientes (Pensieri e Bozzano, 2017). Nas áreas portuárias, a necessidade do conhecimento dos cenários prováveis para condição meteo-oceanográfica local, assoreamento das áreas navegáveis e qualidade da água tem levado a um fomento desses estudos pelos órgãos reguladores (PIANC, 2012; ABNT, 2017) e se tornou um diferencial positivo para o planejamento e a navegação segura.

Nesse contexto, os monitoramentos hidrodinâmicos e meteorológicos contínuos, bem como o acompanhamento da variação das profundidades e o conhecimento do material colmatado nos canais de acesso, bacias de evolução e píeres de atracação se tornaram fundamentais para o entendimento do comportamento da área navegável dos portos. Além disso, quando essas informações são integradas e analisadas no contexto de planejamento de intervenções portuárias, como em obras de dragagem e derrocagem, elas contribuem para a minimização dos impactos ambientais/sociais, diminuição dos aportes financeiros para sua execução e aumento da eficiência portuária com segurança.

A necessidade de manutenção contínua das profundidades dos portos brasileiros é consequência do processo de assoreamento das vias de navegação (IPEA, 2009). Entretanto, os altos custos das obras de dragagem e os conflitos ambientais e sociais gerados pelo elevado nível de contaminação do material ressuspensionado, dragado e posteriormente levado para áreas de descarte são alguns desafios que exigem um elevado nível de conhecimento da dinâmica local do ambiente para realização de intervenções com menos impactos negativos a biota aquática e a qualidade de vida de pescadores, moradores e turistas (Theodoro, 2005).

Nas regiões costeiras, o sedimento inconsolidado advém principalmente do aporte dos rios e estuários, retrabalhamento do sedimento nas praias, atividades pesqueiras e comerciais (Paphitis e Collins, 2005). A mobilidade dos sedimentos nessas regiões é amplamente estudada no Brasil (Mahiques, 1995; Gonzalez e Souza, 1998; Martins et al., 2004; Siegle et al., 2009; Neves et al., 2012; Bastos et al., 2014; Garonce e Quaresma, 2014; Mendonça e Ribeiro, 2014; Oliveira e Quaresma, 2017) e no mundo (Shi e Chen, 1996; Wolanski et al., 2003; Anthony, 2004; Storlazzi et al., 2011; Gao et al., 2018; Fan et al., 2020).

A interação complexa entre correntes, ondas, marés, forçantes atmosféricas, aportes fluviais, morfologia costeira e topografia do fundo torna o entendimento da dinâmica sedimentar em ambientes costeiros um desafio. Em regiões estuarinas e com variações consideráveis da amplitude de maré, as correntes possuem um papel fundamental na remobilização e transporte dos sedimentos (Aubrey, 1986; Salehi e Strom, 2012; Gao et al., 2018). Entretanto, em ambientes costeiros com amplitude de maré menores, a ação das ondas tem sido considerada o principal fator responsável pela ressuspensão do sedimento de fundo para posterior transporte pelas correntes (Storlazzi et al., 2010; Vousdoukas et al., 2011; Shi et al., 2015). Portanto, estudos visando o entendimento dos mecanismos responsáveis pela ressuspensão dos sedimentos pela ação das ondas têm sido rotineiramente realizados, discutidos e aprimorados (Bagnold, 1963; Li e Amos, 2001; van Rijn, 2007; Neumeier et al., 2008; Zuo et al., 2017).

O Porto de Tubarão é um dos principais portos de exportação de minério de ferro do Brasil e está situado na área urbanizada da Grande Vitória, Espírito Santo. Por se inserir em uma região de embaçamento (Baía do Espírito Santo) e sofrer influência tanto continental (Baía de Vitória e Canal da Passagem) como marinha, o entendimento da dinâmica sedimentar do porto não é trivial e se torna necessário pelo potencial impacto social e ambiental das intervenções periódicas para manutenção das profundidades navegáveis. O objetivo principal do estudo é fornecer um entendimento integrado sobre os processos responsáveis pelo assoreamento do Porto de Tubarão, a partir da análise de dados de vazão fluvial, pluviométricos, hidrodinâmicos, sedimentológicos do sedimento superficial de fundo e batimétricos coletados na área de interesse e adjacências.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Dados de pluviosidade, vazão e vento

Os dados históricos de pluviosidade em Vitória, Espírito Santo, e da vazão do rio Santa Maria da Vitória, principal afluente da BV, foram analisados entre maio de 2015 e outubro de 2018. Essa avaliação contempla todo o período entre os levantamentos batimétricos e hidrodinâmicos realizados no presente estudo e foi utilizada para identificar os períodos secos e chuvosos. Os dados utilizados para análise da pluviosidade foram coletados pela estação automática A612 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no Campus Goiabeiras da UFES, e a análise da vazão se baseou nos dados obtidos a partir de leituras de nível e utilização da curva de descarga para a estação 57130000 da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada na cidade de Santa Leopoldina, Espírito Santo.

Os dados de vento a 10 m de altura foram extraídos da *Climate Forecast System Reanalysis* (CFRS) – *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) para o ponto em frente à BES (latitude: -20,3407 e longitude: -40,0910) no período de março de 2019 a julho de 2020.

2.2 Histórico da hidrodinâmica

2.2.1 Transectos na BV e BES

Com o intuito de avaliar espacialmente e temporalmente as mudanças dos padrões hidrodinâmicos, e conseqüentemente da dinâmica sedimentar, na BV e BES, perfis horários de velocidade e direção das correntes ao longo da coluna d'água foram coletados com ADCP (Acoustic Doppler Current Profile) em dois transectos (Fig. 2). As coletas ocorreram ao longo de todo ciclo de maré de sizígia (13hs), durante um período chuvoso e um seco, na desembocadura da BV (T_BV) em 15 de maio e 24 de outubro de 2018, respectivamente, e nas proximidades da sobrebaía do Porto de Tubarão e alto-fundo presente na BES (T_BES) em 16 de maio e 25 de outubro de 2018, respectivamente. A calibração, aquisição e posterior análise de qualidade dos dados foram realizadas no software RiverSurveyor Live do próprio ADCP RiverSurveyor M9 da Sontek utilizado para coleta. Os dados de corrente dos perfis foram exportados e posteriormente utilizados no Matlab R2020a para obtenção dos perfis resultantes de

corrente ao longo do ciclo de maré. Para tanto, os dados de corrente foram decompostos em velocidades paralelas e transversais ao eixo principal do canal da BV (65,3° do norte verdadeiro) e de forma semelhante relativo ao eixo principal do Canal de Acesso do Porto de Tubarão (74,37° do norte verdadeiro). Posteriormente, as médias das velocidades observadas, a partir dos dados horários coletados ao longo do ciclo de maré, foram obtidas para realização do cálculo das velocidades e direções resultantes em cada célula.

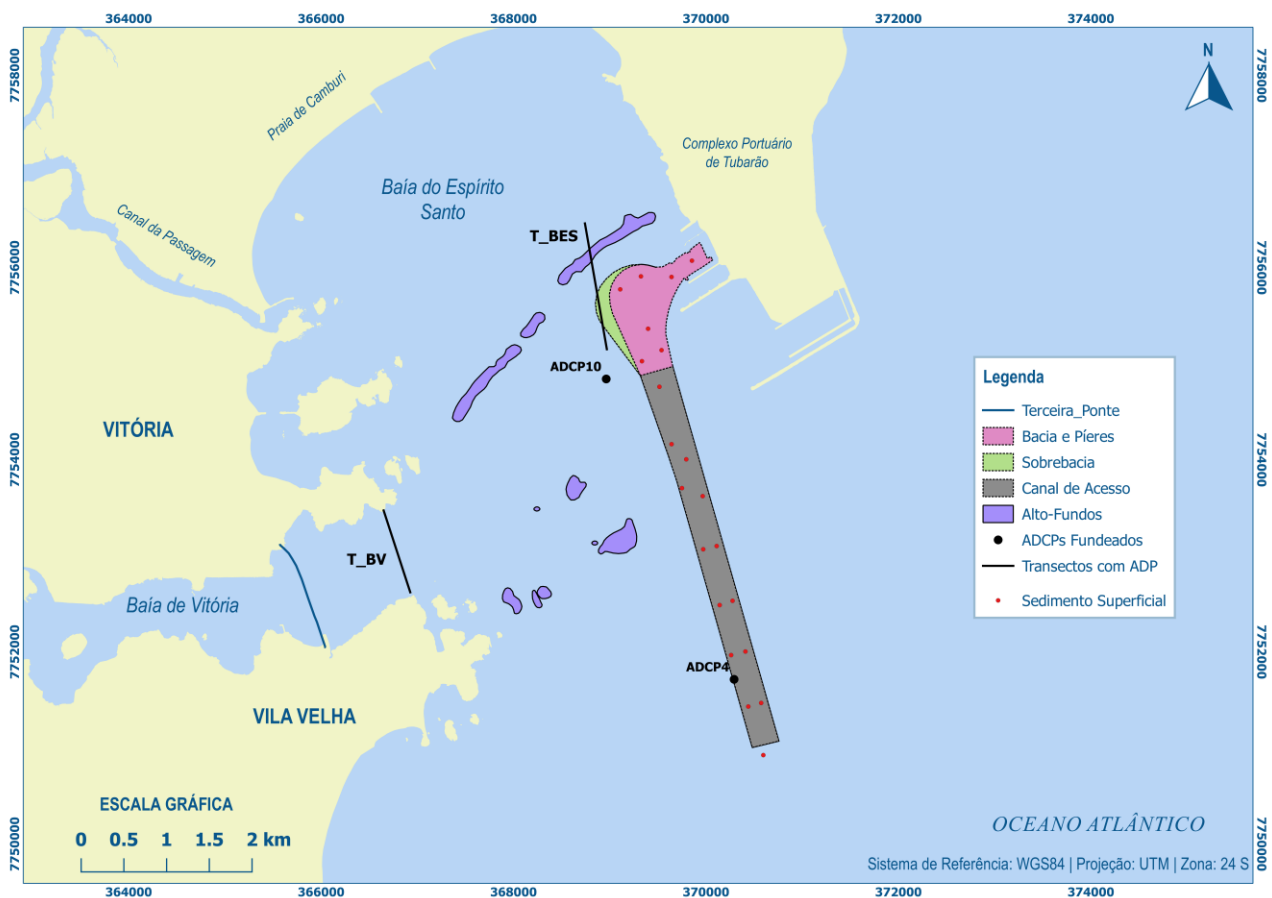


Figura 2 – Delimitação da geometria onde os dados batimétricos históricos foram comparados no Porto de Tubarão (áreas rosa, verde e cinza), bem como localização dos pontos de fundeio (pontos pretos) e transectos (linhas pretas) realizados com ADCPs para análise da hidrodinâmica. Os pontos de coleta de sedimento superficial são apresentados pelos pontos vermelhos.

2.2.2 Fundeios na BES

A análise temporal dos dados de corrente e onda coletados pelos ADCPs fundeados nas proximidades das boias 4 (ADCP4) e 10 (ADCP10) do Porto de Tubarão foi realizada entre julho de 2015 e julho de 2020. Essa avaliação contempla os períodos entre os levantamentos batimétricos utilizados na análise do assoreamento do Porto de

Tubarão e foi utilizada para verificar as alterações temporais dos padrões hidrodinâmicos na área de estudo.

Devido à ocorrência de problemas técnicos durante as coletas dos dados de corrente, entre julho de 2015 e abril de 2018, somente os dados de ondas passaram na análise de qualidade e foram considerados no presente estudo para avaliação dos padrões hidrodinâmicos nesse período. Dessa forma, os padrões de onda foram separados e analisados para dois períodos distintos, sendo os dados entre julho de 2015 a abril de 2017 utilizados para avaliação do padrão de ondas entre o período da batimetria pós-dragagem e de acompanhamento, e os dados entre maio de 2017 a abril de 2018 utilizados para verificar o padrão de ondas no período entre a batimetria de acompanhamento e a batimetria pré-dragagem.

Os dados de corrente e onda coletados pelos ADCPs fundeados entre março de 2019 e julho de 2020 passaram na análise de qualidade e se mostraram confiáveis para serem utilizados na avaliação da correlação entre as mudanças dos padrões de onda e a alteração nos padrões de circulação na BES. Para tanto, esses dados hidrodinâmicos foram separados e analisados em dois grupos, de acordo com as principais direções de incidência das ondas (E-S), sendo o primeiro grupo relacionado à incidência de ondas de E-SE e o segundo relacionado à incidência de ondas de SE-S. Os dados de corrente também foram divididos igualmente ao longo da coluna d'água em superfície, meio e fundo para posterior avaliação da resposta da circulação por camada, durante a atuação dos diferentes padrões de onda.

2.3 Cálculo da taxa de assoreamento

A definição das principais áreas de acreção e erosão, bem como o cálculo das taxas de assoreamento foram obtidos a partir da comparação de três levantamentos batimétricos multifeixe realizados no Porto de Tubarão (Fig. 2). Os dados analisados foram coletados pela empresa Microars no final de junho de 2015, logo após uma dragagem para manutenção das vias de acesso ao porto na profundidade de 25,3m, no início de maio de 2017 para acompanhamento do assoreamento e planejamento da próxima dragagem de manutenção pela empresa UMI SAN, e no final de abril de 2018, pouco antes do início de uma dragagem de manutenção também pela empresa UMI SAN.

Os levantamentos batimétricos foram realizados e posteriormente processados em consonância com as instruções normativas da Marinha do Brasil - NORMAN 25 e atingiram qualidade de categoria A, a qual possui as menores incertezas verticais (DHN, 2017).

Após a exportação dos dados batimétricos processados pelo software Caris 10.4 pela camada *shoal* (mais rasa), os XYZs foram utilizados para gerar modelos digitais de elevação (MDE) do fundo, a partir do método de interpolação conhecido como TIN (*Triangulated Irregular Network*) e os pontos foram conectados de acordo com a triangulação de Delaunay, conforme descrito por Câmara e Medeiros (1998). As diferenças entre os MDEs foram calculadas pela subtração entre os modelos das diferentes batimetrias, a partir do método da álgebra de mapas no software HYPACK 2018, e posteriormente as taxas de assoreamento por período, em todo o porto e por área, foram calculados.

2.4 Ressuspensão e transporte do sedimento superficial

No total, 21 amostras de sedimento superficial foram coletadas com draga tipo Van Veen, entre 28/05 e 30/05/2019, dentro da geometria do Porto de Tubarão (Fig.2). A coleta e armazenamento das amostras seguiram as diretrizes apresentadas pelo Guia Nacional de Coleta de Amostras (ANA, 2011). O teor de água e a densidade do sedimento superficial foram obtidas de acordo com Amos et al. (1996) e o cálculo dos parâmetros estatísticos das amostras foi realizado no software GRADISTAT, versão 9.1, com posterior classificação granulométrica baseada em Dias (2004).

Uma avaliação da mobilidade do sedimento superficial encontrado dentro do canal do porto foi realizada com os dados hidrodinâmicos do ADCP4 e 10 para melhor entendimento da dinâmica sedimentar da área de estudo. O cálculo da tensão de cisalhamento de fundo pela ação combinada de corrente e onda (τ_{cw}) foi desenvolvido a partir do modelo de Soulsby (1995) (Equação 1), onde foi utilizada a Energia Cinemática Turbulenta (TKE) (τ_c) para cálculo da tensão de cisalhamento de fundo devido as correntes (Equação 3), e a equação de van Rijn (1993) para cálculo da tensão de cisalhamento de fundo devido às ondas (τ_w) (Equação 4), conforme descrito abaixo:

$$\tau_{cw} = \tau_c \left[1 + 1.2 \left(\frac{\tau_w}{\tau_c + \tau_w} \right)^{3.2} \right] \quad (1)$$

$$E = (u'^2 + v'^2 + w'^2)/2 \quad (2)$$

$$\tau_c = C \rho_w E \quad (3)$$

$$\tau_w = 0.5 \rho_w f_{wr} U_\delta^2 \quad (4)$$

Onde u' , v' e w' são variações no tempo da velocidade turbulenta (ou seja, $u' = u - \bar{u}$, onde u é a velocidade medida e \bar{u} é a velocidade média); ρ_w é a densidade da água (aproximadamente 1025 kg/m^3 , calculado a partir das temperaturas medidas pelo ADCP e salinidade de 36); C é uma constante com valor de 0,19 (Kim et al., 2000; Pope, et al., 2006; Stapleton et al., 1995); f_{wr} é o fator de fricção devido à presença de formas de fundo e calculada pela equação de Soulsby (1997), usando a rugosidade equivalente $k_s = 0,050$, conforme sugerido em Deltares (2014); e a U_δ é a velocidade orbital da onda calculada pela aproximação exponencial de Soulsby (2006).

O cálculo da tensão crítica para ressuspensão de sedimento do fundo (τ_{cr}) foi realizado através da equação de Taki (2001) para sedimento coesivo (Equação 5), uma vez que todas as amostras dentro da área do porto apresentaram tais características:

$$\tau_{cr} = 0,05 + \beta \left\{ \frac{1}{[(\pi/6)(1+sW)]^{1/3} - 1} \right\}^2 \quad (5)$$

Onde $\beta = 0,3$ para grãos de sedimento menores que várias dezenas de microns e alto teor de água segundo Taki (2001) e conforme observado nas amostras de sedimento analisadas; $s = (\rho_s/\rho_w - 1)$ é o peso específico da partícula; ρ_s é a densidade do sedimento das amostras (2650 kg/m^3); e W é o teor de água do sedimento úmido (mesurado em laboratório).

3. RESULTADOS

3.1. Fluxos entre Baía de Vitória e Baía do Espírito Santo

Os períodos chuvoso e seco da área de estudo foram definidos a partir da observação dos dados de precipitação acumulada em Vitória/ES e vazão média do rio SMVT para análise das diferenças de circulação entre a BV e BES nesses momentos (Tab. 1). A análise dos dados pluviométricos e fluviométricos, a partir de 5 dias antes da realização dos transectos para coleta dos perfis de corrente na BV, apresentou precipitação acumulada e vazão média quatro vezes maior no período chuvoso (maio/2018) em relação ao período seco (outubro/2018), corroborando a conformidade dos períodos escolhidos para análise.

Tabela 1 – Precipitação acumulada em Vitória/ES e vazão média do rio SMVT nos períodos de coleta dos transectos de corrente na BV. A vazão natural média do rio é de 10,7 m³/s (SOMA, 2003).

PERÍODO	MEDIÇÃO	VALORES
Chuvoso 10/05 - 15/05/2018	Precipitação (mm)	85.8
	Vazão (m ³ /s)	26.4
Seco 19/10 - 24/10/2018	Precipitação (mm)	21.2
	Vazão (m ³ /s)	6.9

A velocidade das correntes no período chuvoso atingiu máximas de 1,9 m/s, com direção predominante de saída da BV (entorno de 45 a 90°), durante a maré vazante e foram observadas na camada superficial até 5 m de profundidade, principalmente na região do Canal de Acesso ao Porto de Vitória. No período seco, as correntes com valores máximos de 1,5 m/s foram encontradas ao longo de toda a coluna d'água, principalmente na maré enchente e direcionadas para dentro da BV (aproximadamente de 225 a 270°).

A vazão na saída da BV para a BES também variou consideravelmente entre as estações chuvosa e seca com a atuação da mesma amplitude de maré (1,5 m), ao longo dos dias de coleta de dados (15/05 e 24/10/2018). Os valores positivos representam vazões ao longo da costa em direção a BES, enquanto os valores negativos apresentam vazões resultantes para dentro da BV. Enquanto as vazões máximas de 345 m³/s e -4425 m³/s foram observadas durante a estação seca para maré vazante e enchente, respectivamente, as vazões máximas na estação chuvosa foram de 5739 m³/s e 344 m³/s

para maré vazante e enchente, respectivamente. Um dia antes das coletas na estação chuvosa (14/05/2018), também foi observada precipitação forte na região da Grande Vitória com possível influência do escoamento pluvial nas vazões da BV observadas nesse período.

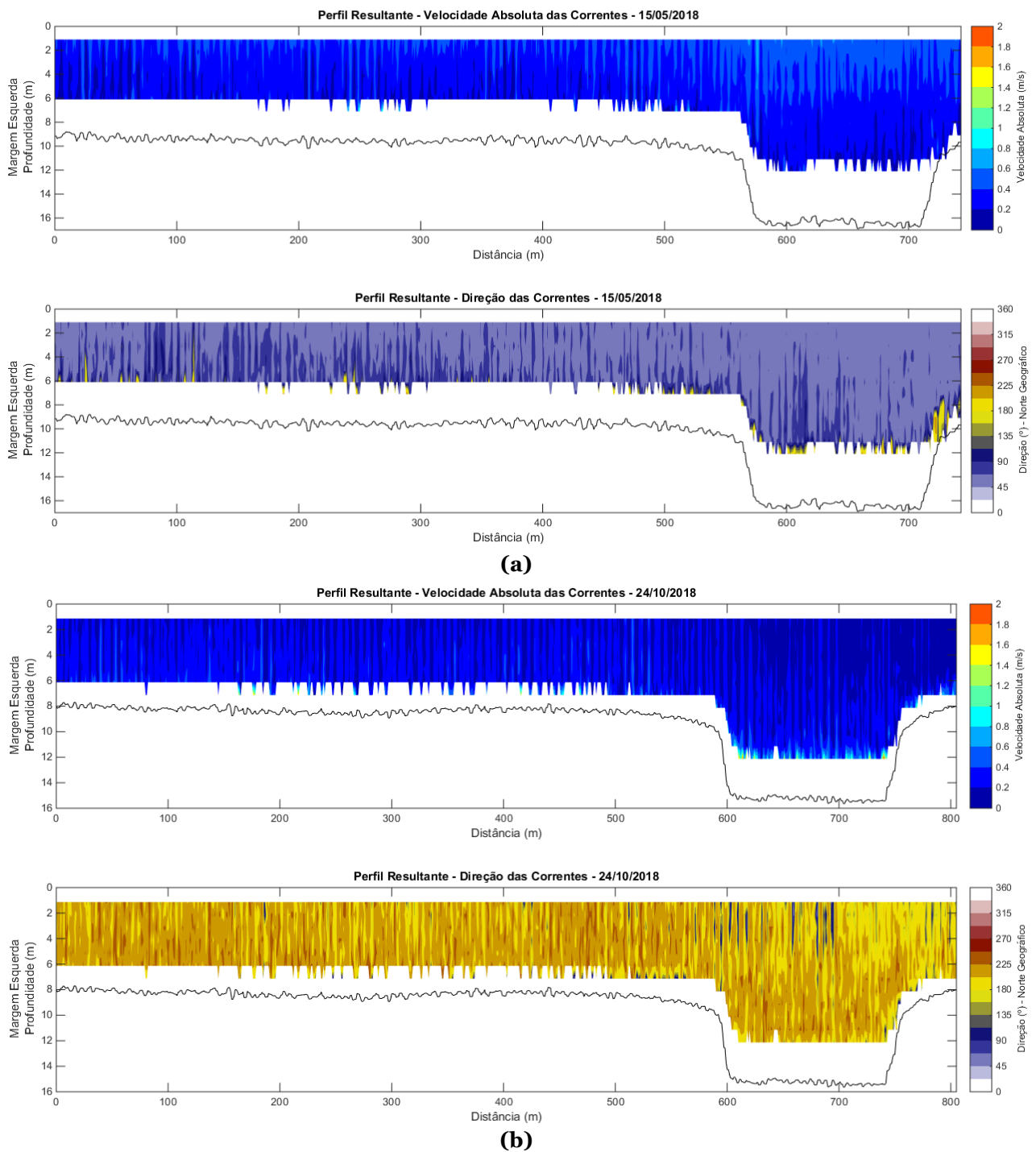


Figura 3 - Perfis resultantes da velocidade e direção das correntes residuais observadas na desembocadura da BV nos períodos chuvoso (a) e seco (b).

A partir da análise integrada dos perfis de corrente, percebe-se que o sentido resultante das correntes foi oposta nos períodos monitorados (Fig. 3). Ou seja, o fluxo durante o período chuvoso tende a se dirigir da BV para a BES com vazão resultante de 2583 m³/s, enquanto no período seco, observa-se uma tendência de entrada das correntes da BES para a BV com vazão resultante de -1579 m³/s.

3.2. Hidrodinâmica da Baía do Espírito Santo

A partir dos dados de corrente e onda coletados pelos ADCPs fundeados, foi possível analisar a variabilidade da hidrodinâmica da BES ligada à mudança do padrão de ondas incidente na região (Fig. 4). Entre fevereiro de 2019 e julho de 2020, as ondas comumente incidiram do quadrante E-S na BES. A altura significativa das ondas atuantes na BES tendeu a ser menor que 2 m, com observação de uma maior frequência de ondas entre 1 e 2 m na entrada da BES e abaixo de 1 m na região central da BES. O período de pico primário das ondas tendeu a ser menor que 15 s em ambas regiões, com maiores frequências de ondas locais entre 5 e 10 s.

Após a realização do cálculo da velocidade e direção média das correntes atuantes nas diferentes camadas (superfície, meio e fundo) entre 2019 e 2020, além da sua separação de acordo com o padrão de atuação de ondas (SE-S e E-SE) no momento da coleta, observa-se que as velocidades das correntes em todas as profundidades tenderam a ser menores que 0,30 m/s (Fig. 5 e 6), com correntes mais intensas sendo observadas mais frequentemente na camada superficial (até aproximadamente 8m de profundidade). Abaixo desta camada, a velocidade das correntes foi em grande parte do tempo menor que 0,15 m/s, principalmente na parte central da BES. A direção das correntes atuantes tendeu a variar fortemente conforme o padrão de ondas atuante. As correntes observadas durante a atuação de ondas de E-SE tenderam a ter uma direção resultante para O-SE na entrada da BES, enquanto a direção resultante das correntes para NE-E foi observada durante a atuação de ondas de SE-S (Fig. 5).

A área interna da BES apresentou uma mudança mais sutil no padrão de circulação abaixo da camada superfície com a influência dos diferentes padrões de onda (Fig. 6). Com a atuação de ondas de E-SE, as correntes tenderam a se direcionar para N-NO abaixo da camada superficial, ocorrendo uma deflexão das correntes predominantes para N-E com a atuação das ondas de SE-S. Já na camada superficial, o padrão das

correntes tendeu a manter o direcionamento entre SE-SO durante a atuação de ondas de E-SE, enquanto as correntes tenderam a oscilar com direcionamento para NE e SO durante a atuação de ondas de SE-S.

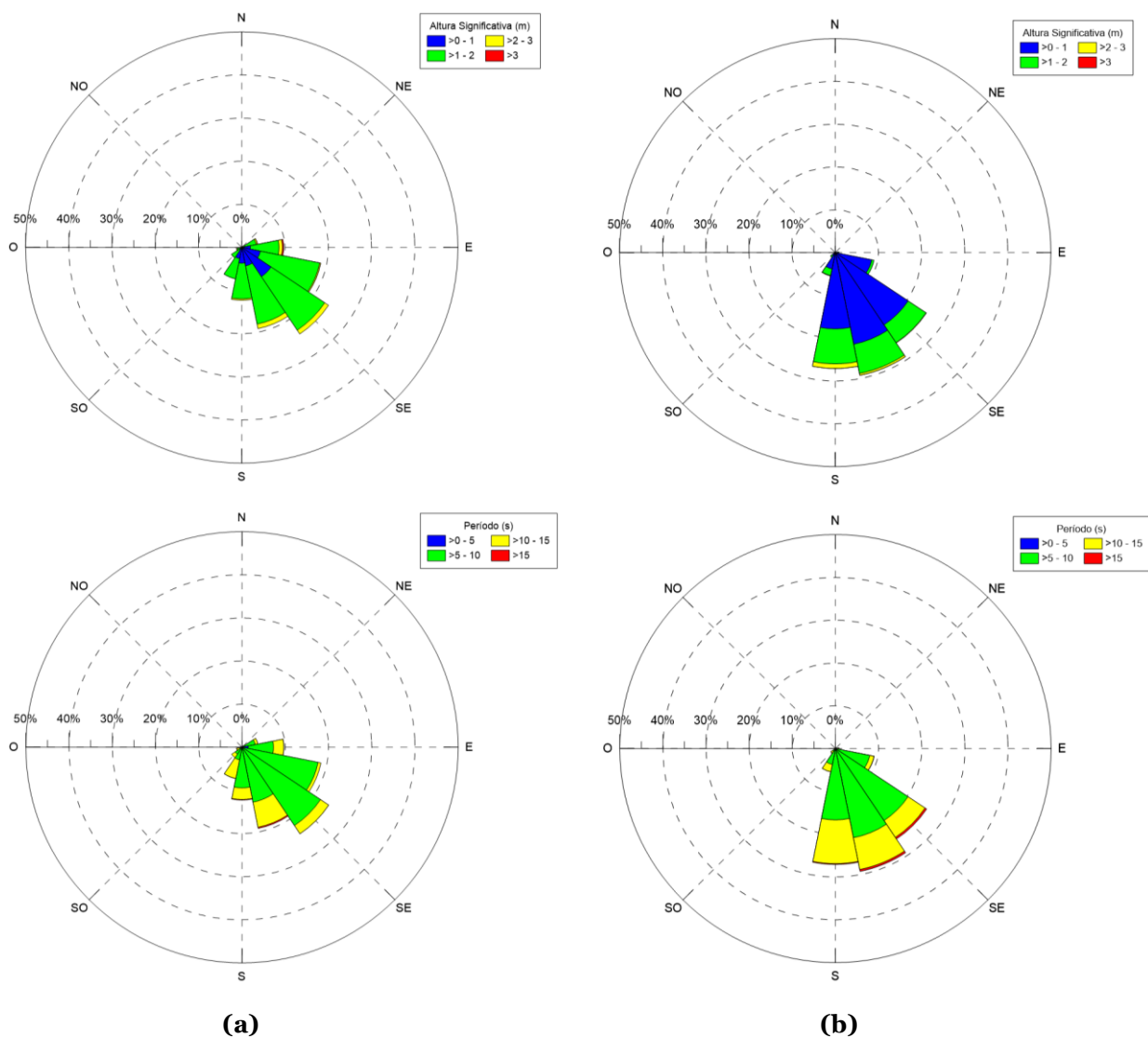


Figura 4 – Padrão de altura significativa e período de pico das ondas observadas pelo ADCP4 (a) localizado na entrada da BES e ADCP10 (b) situado na parte central da BES. O período de amostragem ocorreu entre fevereiro de 2019 a julho de 2020.

Fundeio ADCP4 - 03/2019 a 07/2020 - Ondas E-SE

Fundeio ADCP4 - 03/2019 a 07/2020 - Ondas SE-S

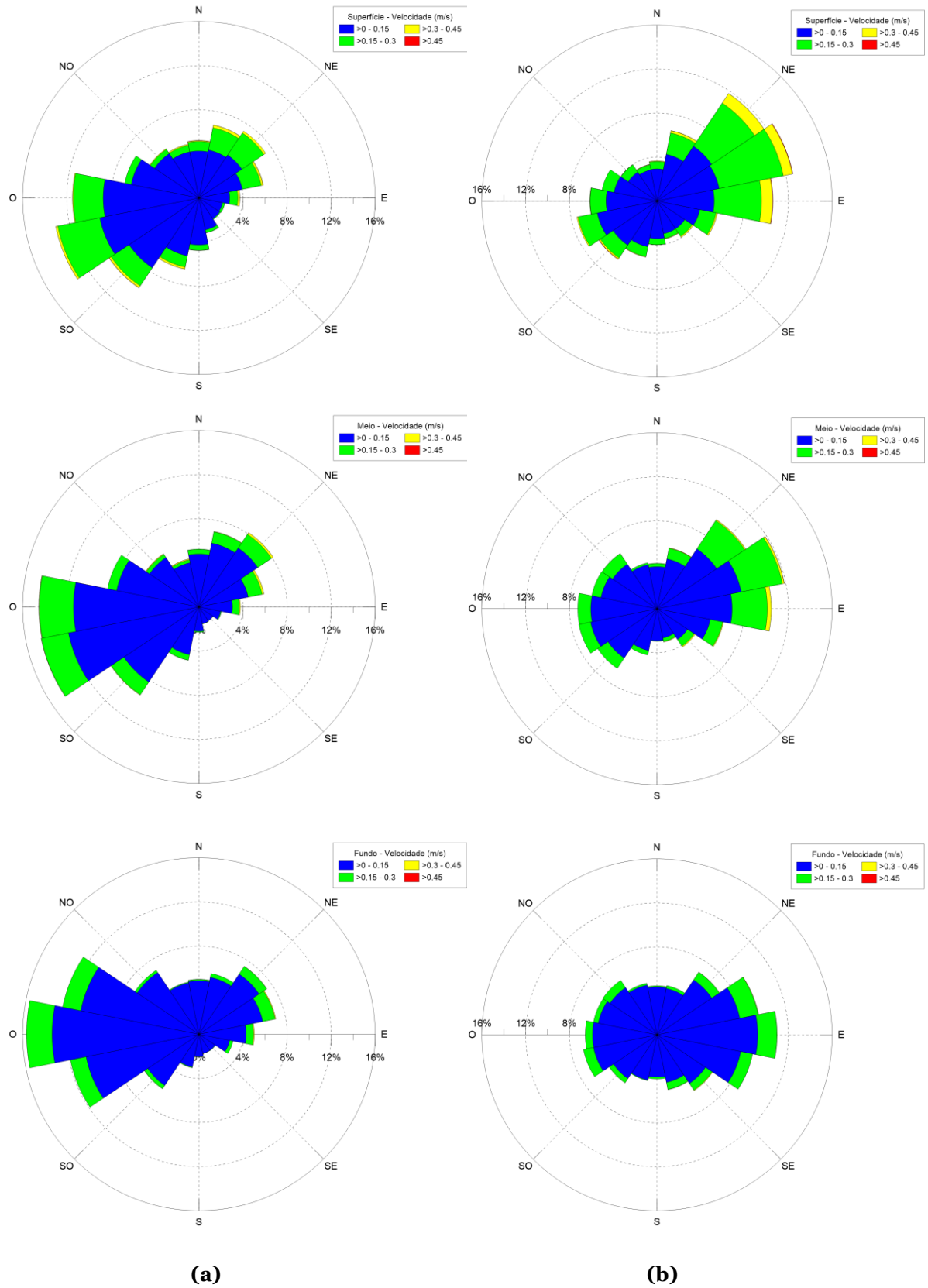


Figura 5 – Padrão de correntes médias observadas no ADCP4 entre março de 2019 a julho de 2020 ao longo da coluna d’água (superfície, meio e fundo), sendo: (a) durante a atuação de ondas incidentes de E-SE e (b) para durante ondas incidentes de SE-S.

Correntes ADCP10 - 03/2019 a 07/2020 - Ondas E-SE

Correntes ADCP10 - 03/2019 a 07/2020 - Ondas SE-S

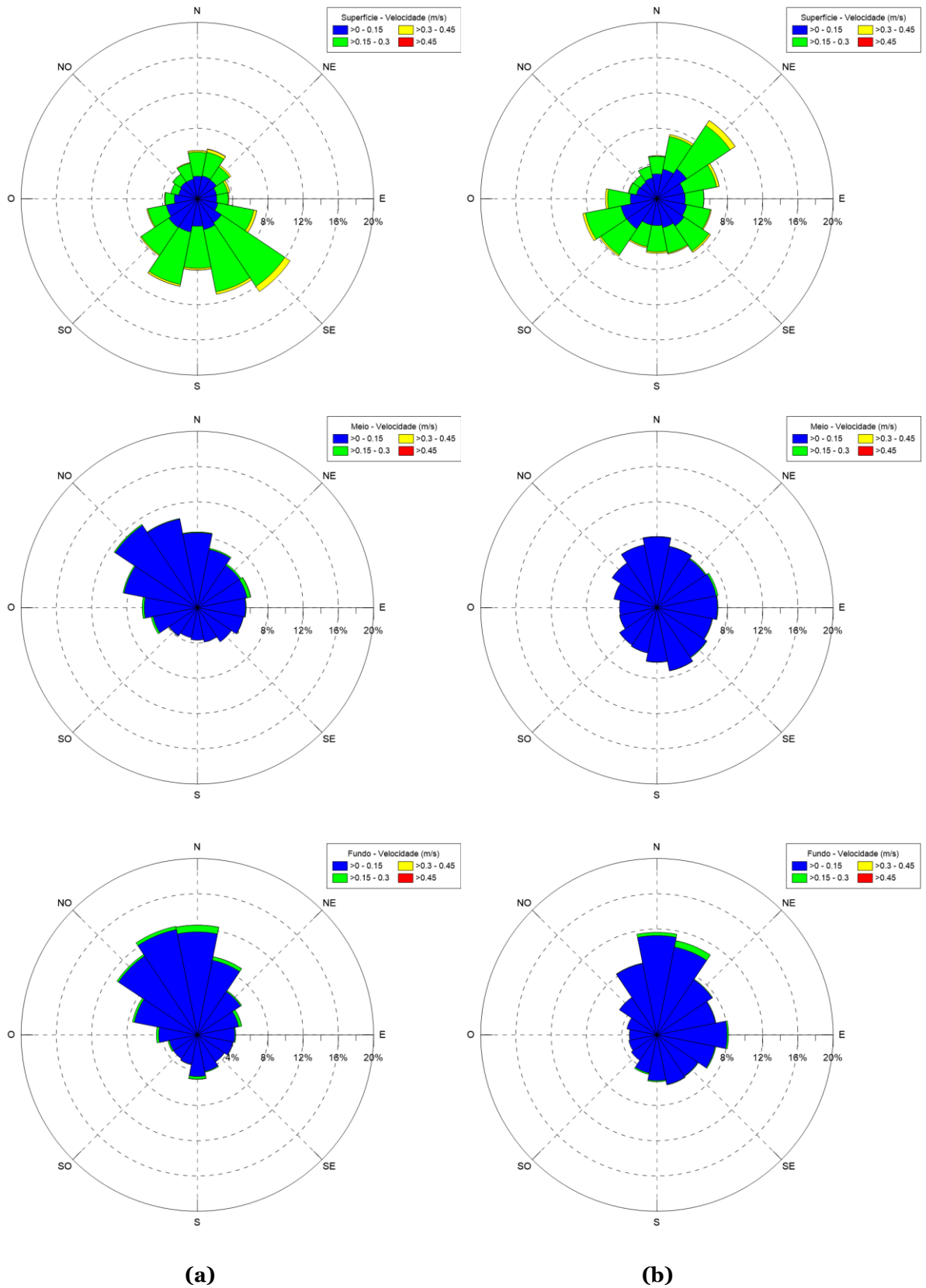
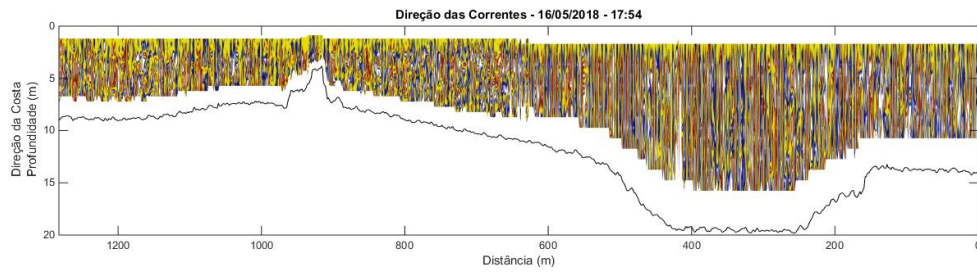
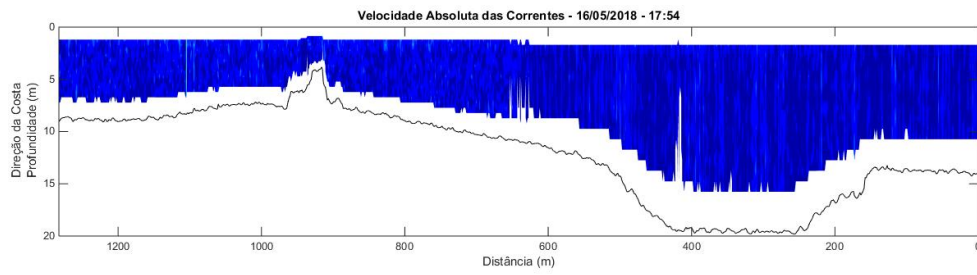
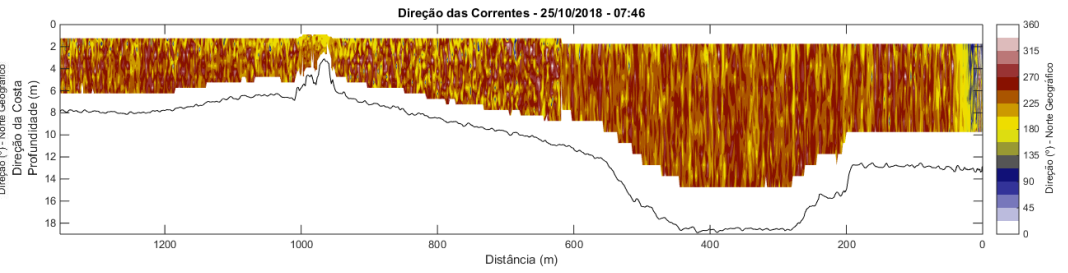
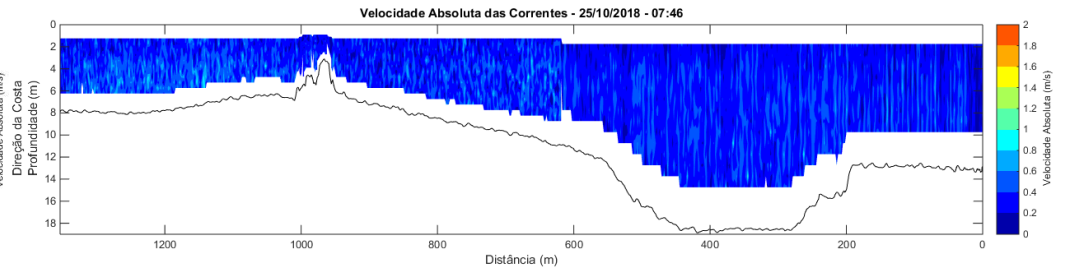


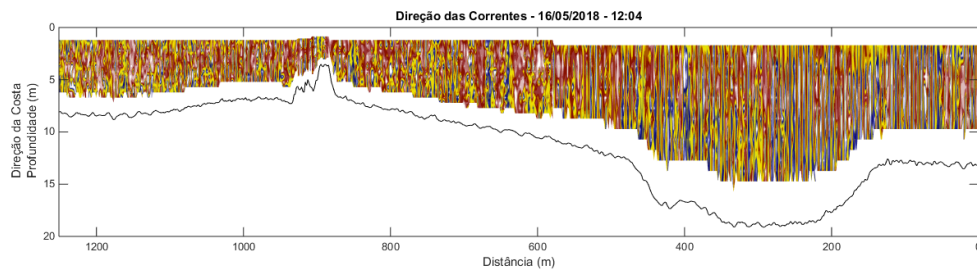
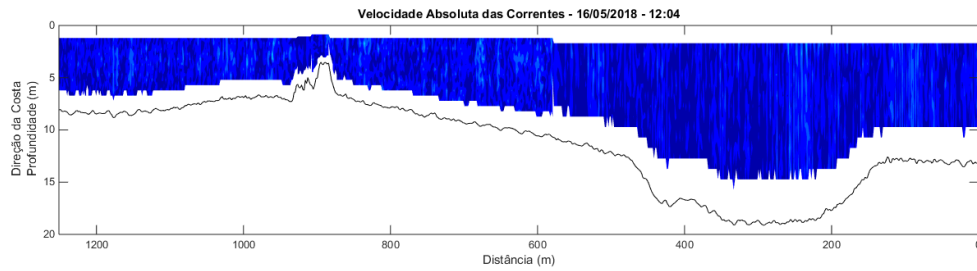
Figura 6 – Padrão de correntes médias observadas no ADCP10 entre março de 2019 a julho de 2020 ao longo da coluna d’água (superfície, meio e fundo), sendo: (a) durante a atuação de ondas incidentes de E-SE e (b) para durante ondas incidentes de SE-S.



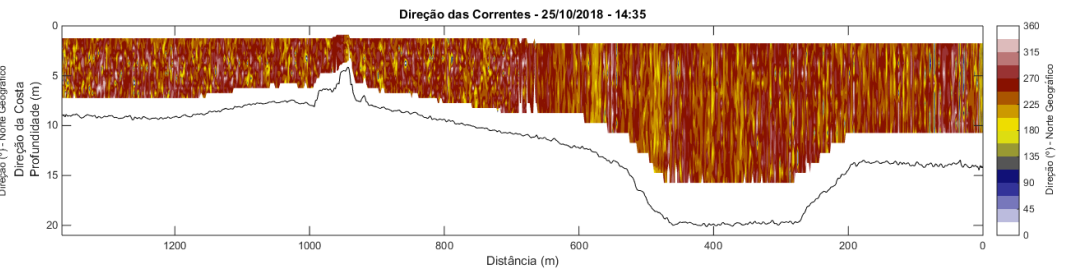
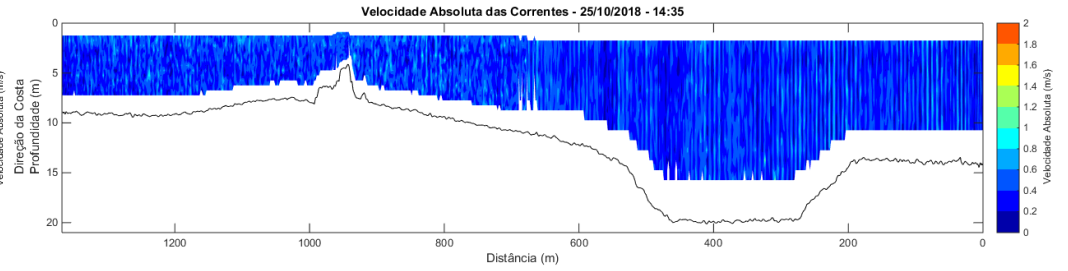
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7 – Perfis de velocidade e direção das correntes BES durante o período chuvoso com atuação de ondas de SE-S e seco com atuação de ondas de E-SE, sendo representados por (a) chuvoso na máxima vazante, (b) seco na máxima vazante, (c) chuvoso na máxima enchente e (d) seco na máxima enchente.

Os transectos de corrente na BES realizados durante o período chuvoso coincidiram com a incidência de ondas de SE-S, segundo dados analisados dos dois ADCPs fundeados, enquanto a coleta de dados durante o período seco coincidiu com a incidência de ondas principalmente de E-SE. As velocidades das correntes mais frequentes foram menores que 0,4 m/s ao longo de toda coluna d'água nos dois períodos de coleta (Fig. 7). Durante o monitoramento no período seco, foram observadas correntes preferencialmente orientadas para O-SO ao longo de todo o ciclo de maré, com vazão máxima de $-5778 \text{ m}^3/\text{s}$ (para O-SO). Já no período chuvoso, não houve uma direção preferencial das correntes, variando de acordo com o momento do ciclo de maré e profundidade. As vazões máximas foram de $-899 \text{ m}^3/\text{s}$ (para O-SO) na maré enchente e $504 \text{ m}^3/\text{s}$ (para NE-E) na maré vazante, indicando um maior fluxo paralelo ao canal nesse período.

3.3. Espessura do sedimento e taxa de assoreamento

O levantamento batimétrico realizado em junho de 2015 (Fig. 8), pós-dragagem, para manutenção das cotas do Porto de Tubarão evidenciaram a presença de um canal dragado a sudeste da BES com aproximadamente 5,2 km de comprimento e profundidades variando de 25 a 27 m no Canal de Acesso, Bacia de Evolução e área entre os píeres de carvão. As profundidades na sobrebacia variaram de 18 a 19 m. O ângulo dos taludes variou em média de 20 a 30 graus com algumas áreas apresentando declividades mais suaves, principalmente na área mais externa do Canal de Acesso, e áreas com taludes mais inclinados associados à dragagem próxima ao sopé. Feições superficiais de fundo relacionadas às marcas deixadas pela dragagem foram observadas em toda a Bacia de Evolução e na proximidade dos taludes no Canal de Acesso.

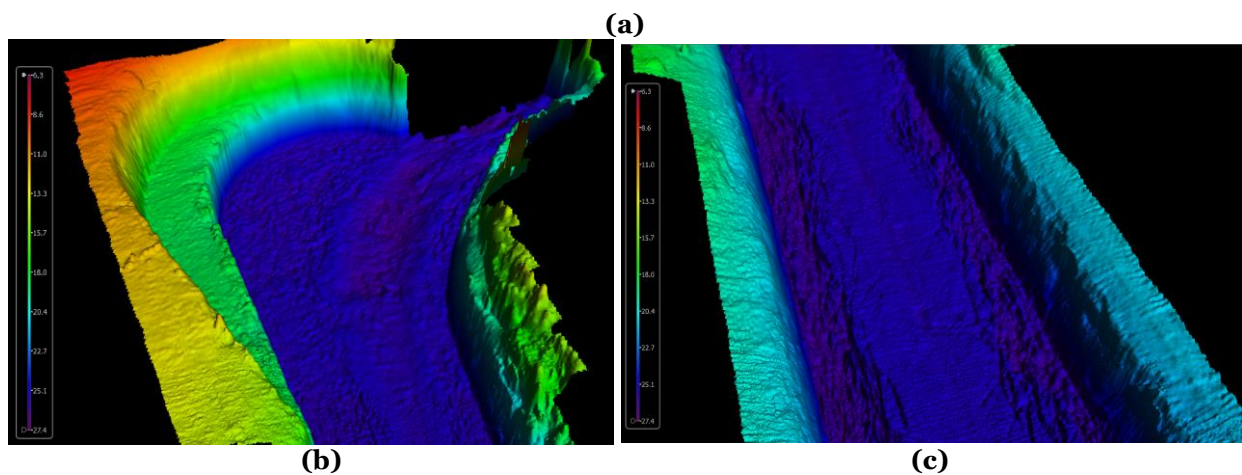
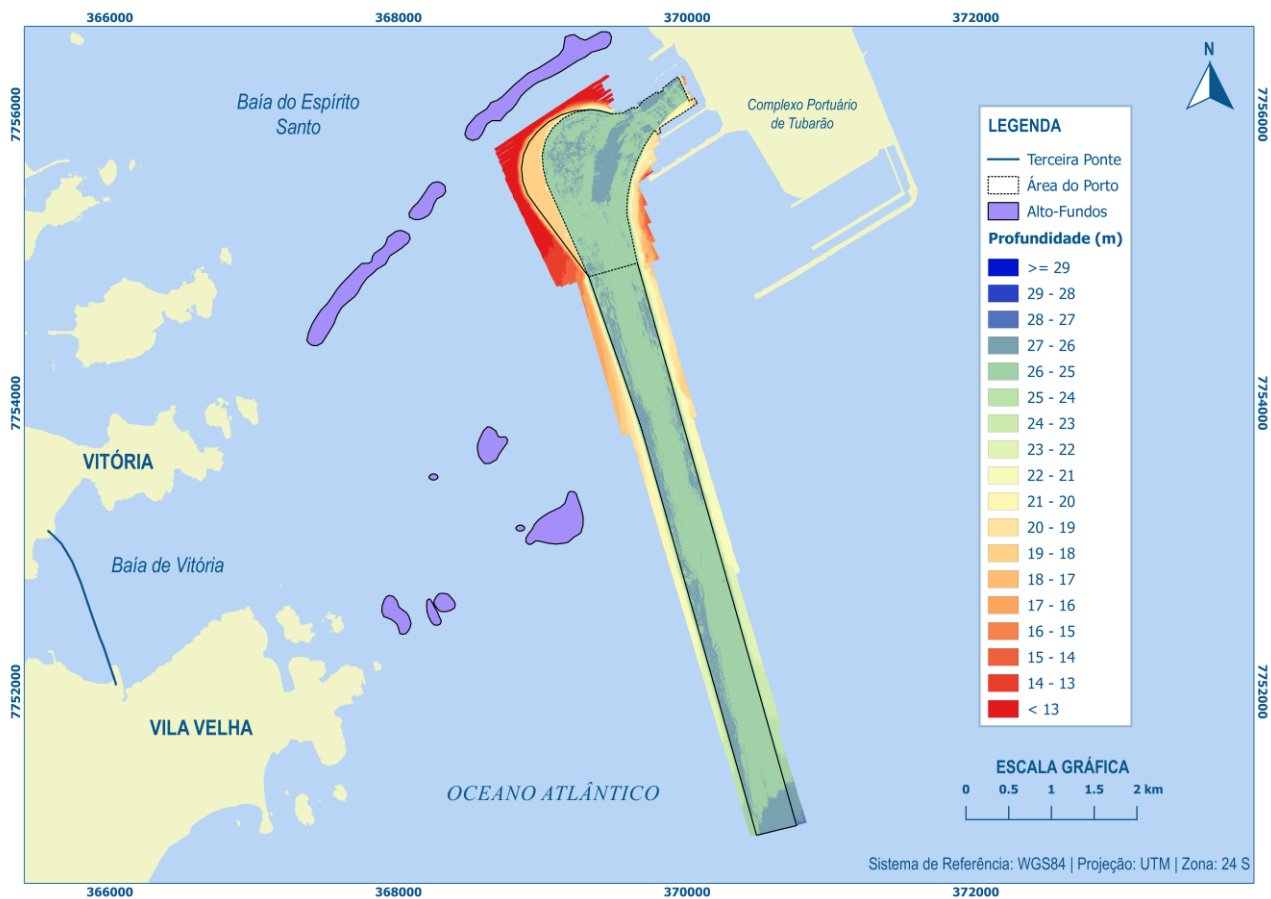
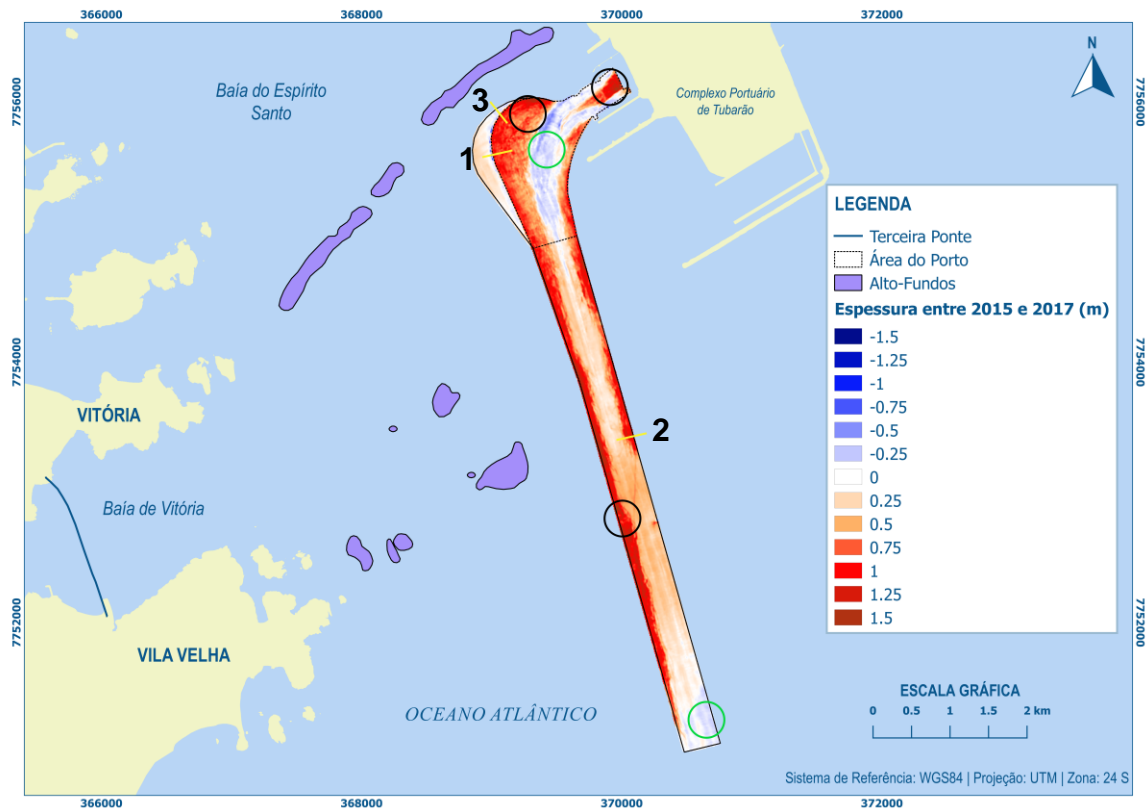


Figura 8 – Levantamento batimétrico de junho de 2015 no Porto de Tubarão após a dragagem de manutenção: (a) profundidades encontradas em cada região; (b) imagem 3D da região da Bacia de Evolução e Sobrebaía; e (c) imagem 3D da região do Canal de Acesso do Porto de Tubarão. As imagens 3D apresentam exagero para melhor visualização das feições de fundo.

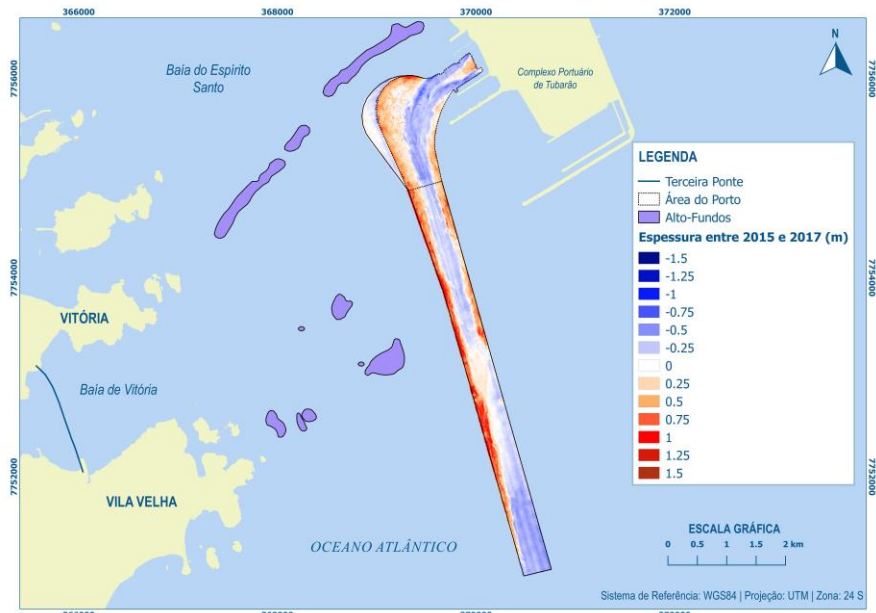
A área analisada do porto com aproximadamente 1,97 km² apresentou uma taxa de assoreamento de 15 cm/ano entre julho de 2015 a abril de 2018 (Tab. 2), sendo a maior taxa observada no Canal de Acesso (17 cm/ano) e menor taxa verificada na sobrebacia (3 cm/ano). Entretanto, a assoreamento no Porto de Tubarão ocorreu de forma não linear nesse período (Fig. 9), com maiores taxas entre maio de 2017 a abril de 2018 (35 cm/ano) em todas as áreas analisadas, quando comparadas as taxas verificadas entre julho de 2015 a abril de 2017 (2 cm/ano). O sedimento inconsolidado tendeu a se concentrar principalmente no sopé dos taludes, norte da Bacia de Evolução e entre o Píer 2 e Píer 1 Norte, associado ao sopé do talude existente entre eles. Uma menor acreção ou a ocorrência de erosão foi observada na parte central do Canal de Acesso e Bacia de Evolução, onde se situa a rota principal de navegação e manobra dos navios, respectivamente. A erosão observada na entrada do Canal de Acesso do porto possivelmente está associada a maior ação hidrodinâmica por ser área mais energética (circulada de roxo).

Tabela 2 - Taxas de assoreamento calculadas para o Porto de Tubarão em diferentes períodos.

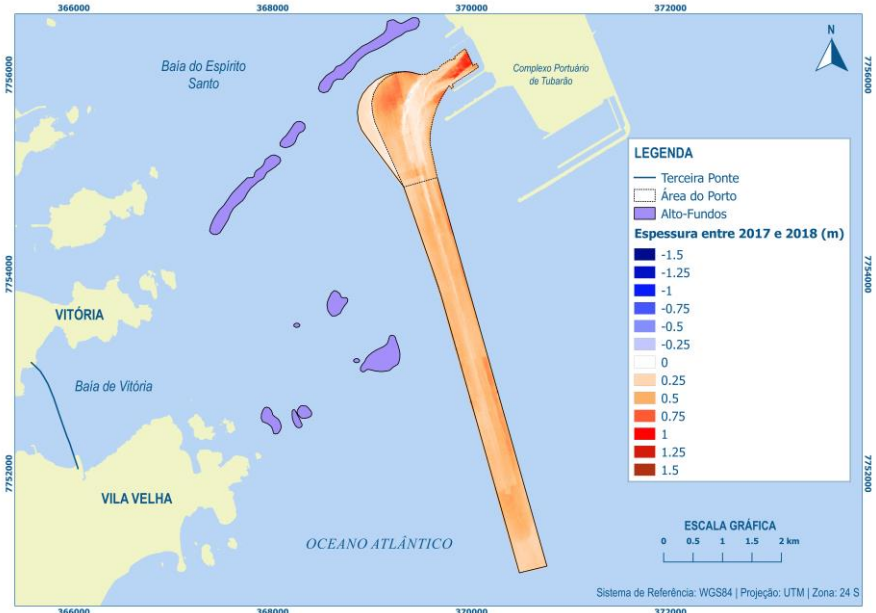
PERÍODO	ÁREA	VOLUME (m ³)	TAXA DE ASSOREAMENTO (m ³ /ano)	TAXA DE ASSOREAMENTO (m ³ /mês)	TAXA DE ASSOREAMENTO POR ÁREA (m/ano)
Julho/2015 - Abril/2017	Bacia	9587.3	5229.4	435.8	0.01
	Sobrebacia	-8547.0	-4662.0	-388.5	-0.04
	Canal	77510.2	42278.3	3523.2	0.04
	Total	78550.5	42845.7	3570.5	0.02
Maio/2017 - Abril/2018	Bacia	242857.7	224176.3	18681.4	0.34
	Sobrebacia	20017.9	18478.1	1539.8	0.16
	Canal	480994.1	443994.6	36999.5	0.37
	Total	743869.7	686649.0	57220.7	0.35
Julho/2015 - Abril/2018	Bacia	252445.0	89098.2	7424.9	0.13
	Sobrebacia	11470.9	4048.6	337.4	0.03
	Canal	558504.3	197119.2	16426.6	0.17
	Total	822420.2	290266.0	24188.8	0.15



(a)



(b)



(c)

Figura 9 – Espessura de sedimento colmatado no Porto de Tubarão entre julho de 2015 a abril de 2018 (a), apresentando diferentes padrões para taxas de assoreamento entre julho de 2015 e abril de 2017 (b) e maio de 2017 a abril de 2018 (c). As áreas de maior acreção e erosão de sedimento são indicadas pelos círculos pretos e verdes, respectivamente. As linhas amarelas indicam os perfis dos taludes analisados entre a sobrebaía e Baía de Evolução (1 e 3) e no Canal de Acesso (2).

3.4. Mobilidade do sedimento superficial

Das 21 amostras de sedimento superficial analisadas, 20 foram classificadas como silte, sendo os maiores diâmetros próximos de areia fina localizados na parte externa do Canal de Acesso do Porto de Tubarão (Tab. 3). As amostras apresentaram em sua maioria mais de 60% de água, com diâmetro mediano (D50) em 7,22 μm e a tensão crítica mediana para ressuspensão de sedimento do fundo em 0,1 N/m^2 . A partir da análise da tensão de cisalhamento com os dados de corrente e onda, verificou-se que em mais de 90% do tempo, o sedimento superficial encontrado no canal do porto é ressuspensionado e transportado.

Tabela 3 – Mobilidade do sedimento superficial do Porto de Tubarão, calculada a partir da equação de Taki (2001) para sedimentos coesivos.

AMOSTRA	LOCALIZAÇÃO (WGS 84)		D50 (μm)	Teor Água	Tensão Crítica (N/m^2)	Mobilidade Total	Mobilidade E-SE	Mobilidade SE-S
	X	Y						
P01	370595.4	7750925.8	30.5	39%	0.1	94%	94%	94%
P02	370714.3	7750948.1	901.0	-	0.9	50%	49%	51%
P03	370439.2	7751431.4	9.4	65%	0.1	95%	95%	95%
P04	370573.1	7751468.6	10.9	59%	0.1	95%	95%	95%
P05	370260.8	7751966.8	8.5	63%	0.1	95%	95%	95%
P06	370409.5	7752004.0	7.4	53%	0.1	95%	94%	95%
P07	370141.8	7752487.3	16.4	51%	0.1	95%	94%	95%
P08	370275.6	7752531.9	7.2	56%	0.1	95%	95%	95%
P09	369970.9	7753068.2	6.8	67%	0.1	95%	95%	95%
P10	370110.6	7753101.7	7.0	64%	0.1	95%	95%	95%
P11	369749.6	7753704.8	7.2	60%	0.1	95%	95%	95%
P12	369965.3	7753621.2	6.4	60%	0.1	95%	95%	95%
P13	369641.8	7754162.1	4.8	61%	0.1	93%	94%	91%
P14	369794.5	7754004.4	6.4	61%	0.1	93%	94%	91%
P16	369515.8	7754759.2	5.6	68%	0.1	93%	94%	92%
P17	369537.6	7755140.5	6.9	65%	0.1	93%	94%	92%
P18	369397.7	7755363.5	7.3	69%	0.1	93%	95%	92%
P19	369108.2	7755773.4	6.4	67%	0.1	93%	94%	92%
P20	369323.5	7755908.6	5.4	68%	0.1	93%	94%	92%
P22	369641.4	7755902.4	8.9	53%	0.1	92%	94%	91%
P23	369853.5	7756071.6	6.0	67%	0.1	93%	94%	92%

4. DISCUSSÃO

4.1 Aporte sedimentar da Baía de Vitória na Baía do Espírito Santo

Assim como observado por Garonce e Quaresma (2014), a circulação na desembocadura da BV foi principalmente influenciada pela oscilação das marés e diferença de aporte fluvial entre os períodos amostrais. A direção resultante das correntes ao longo de todo perfil apresentou sentido BV para BES no período chuvoso (Fig. 3a) e se enquadra no padrão de circulação residual conhecido como “tidal pumping” ou bombeamento de maré, onde o movimento é governado pela maré de sizígia que mantém toda a coluna d’água bem misturada (Dyer, 1995). Como a descarga fluvial foi intensa e suficiente para sobrepujar o efeito da maré, o sentido resultante da água foi para fora do estuário.

Ainda durante período chuvoso, o fluxo durante a maré vazante apresentou um padrão de correntes saindo preferencialmente para BES pelo canal e camada superficial (até 5 m de profundidade) e entrando para BV nas regiões mais profundas das margens (Fig. 10a). Além disso, a circulação em duas camadas observada nesse período corrobora a presença de água menos salina superficialmente e o predomínio do controle da circulação pelo gradiente baroclínico de pressão longitudinal, conforme circulação gravitacional clássica também descrita por Dyer (1995). Já durante a maré enchente, a circulação em duas camadas não é aparente e o papel desempenhado pela turbulência gerada pela fricção entre o fluxo da maré entrando na BV e a camada menos salina superficialmente saindo para BES passa a ser determinante para geração de um gradiente horizontal (Fig. 10b). Dessa forma, observa-se a entrada preferencial das correntes para BV pela margem oeste e uma continuidade de saída das correntes para BES pelo canal e margem leste nesse período.

Durante o período seco, não houve evidência clara de circulação em duas camadas durante a maré vazante (Fig. 11a), comprovando o menor aporte no período de águas fluviais na BV. Assim como no período chuvoso durante a maré enchente, as correntes direcionadas para fora da BV ficaram concentradas no canal e margem leste durante a maré vazante do período seco, sugerindo a existência de um gradiente horizontal nessa porção do estuário. Na maré enchente, as correntes para dentro da BV são predominantes em quase todo o transecto e aparentemente há um deslocamento do gradiente horizontal para a margem leste, onde as correntes mais intensas direcionadas

para a BES continuam evidentes (Fig. 11b). As correntes resultantes direcionadas para BES e limitadas à camada superficial do canal mais profundo sugerem uma circulação característica da atuação de onda progressiva de maré no período seco (Fig. 3b), conforme proposto por Valle-Levinson et al. (2009), apesar de existir uma defasagem entre a velocidade das correntes e a elevação da maré.

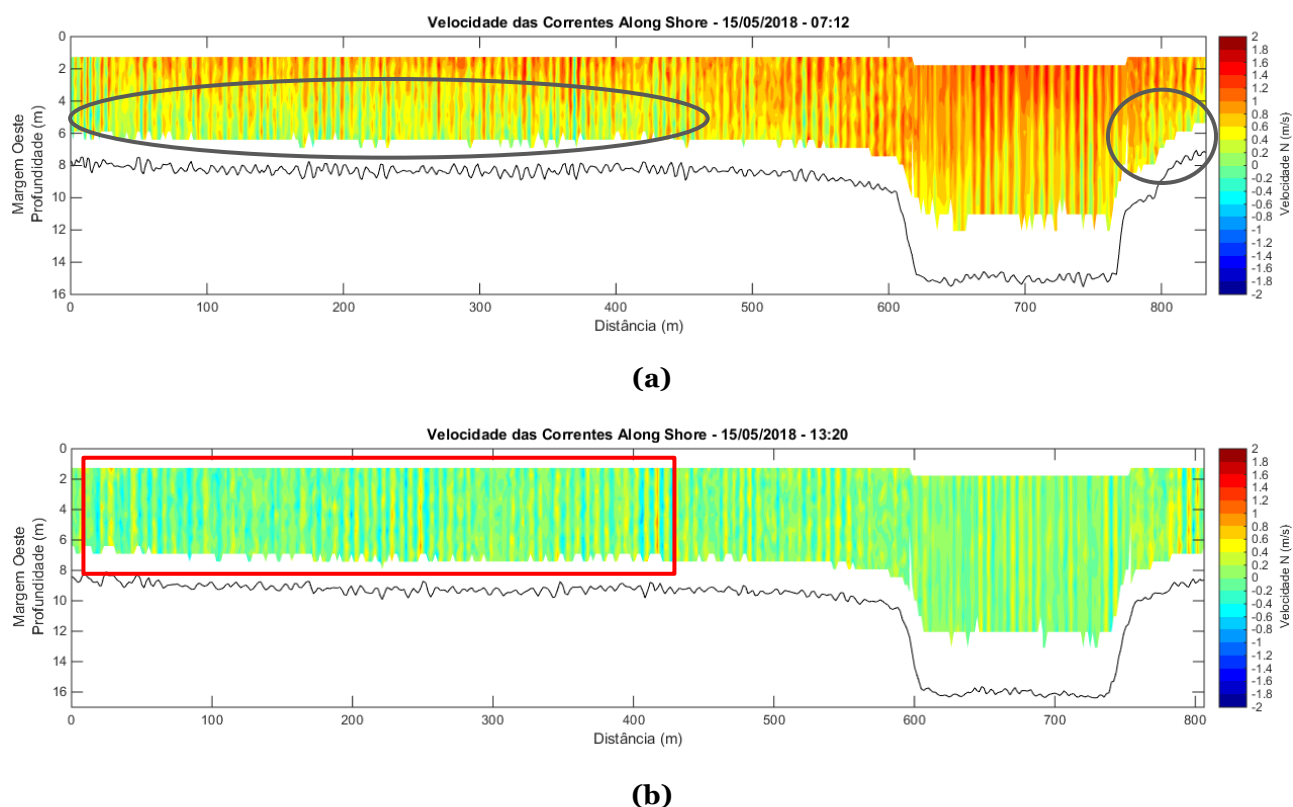


Figura 10 – Velocidade ao longo da costa na desembocadura da BV durante o período chuvoso na maré vazante (a) e enchente (b). Os círculos pretos indicam as regiões com a maior presença de correntes para dentro da BV durante a maré vazante e o retângulo vermelho indica a região com mais correntes para dentro da BV durante a maré enchente. Valores positivos para fora da BV.

A partir dos distintos padrões de circulação observados na desembocadura da BV, pode-se esperar uma maior disponibilidade de sedimento em suspensão na BES durante os períodos chuvosos, uma vez que o fluxo resultante para a BES foi verificado ao longo de todo o ciclo de maré neste período, além de haver uma maior tendência de aporte de MPS pelos rios, decorrente da elevação das vazões do rio SMVT no período, e aumento da ressuspensão do sedimento de fundo pela influência da circulação turbulenta na BV, conforme observado durante na campanha chuvosa. O estudo de Garonce e Quaresma (2014) embasa essa inferência, uma vez que o cálculo dos fluxos residuais de MPS foram realizados para os ciclos de maré sizígia, durante as estações seca e chuvosa, e

apresentaram um fluxo resultante de MPS saindo da BV para a BES na estação chuvosa e o inverso na estação seca. A alternância entre exportação e importação/retenção de MPS é comum em estuários com atuação de micromarés como observado por Schettini e Truccolo (2009), Pereira et al. (2010) e Costa et al. (2016) no Brasil e Defontaine et al. (2019) e Mathew e Winterwerp (2020) em outros países.

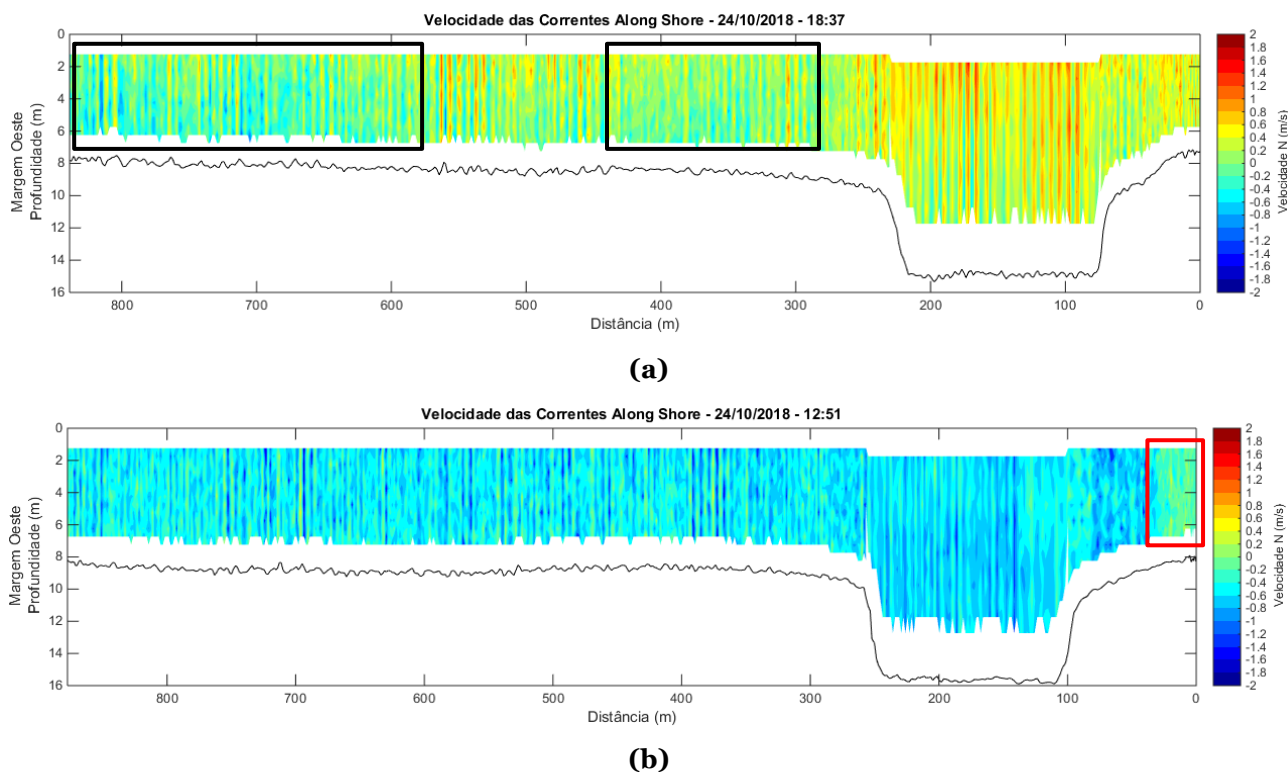


Figura 11 – Velocidade ao longo da costa na desembocadura da BV durante o período seco na maré vazante (a) e enchente (b). Os retângulos pretos indicam as regiões com a maior presença de correntes para dentro da BV durante a maré vazante e o retângulo vermelho indica a região com mais correntes para fora da BV durante a maré enchente. Valores positivos para fora da BV.

Durante períodos de grande pluviosidade, a alta vazão dos rios pode causar condições hidrodinâmicas excepcionais nos estuários e região costeira adjacente, segundo Nichols e Biggs (1985). As fortes correntes fluviais e estuarinas destes períodos ressuspendem sedimentos depositados ao longo dos rios e estuários nos momentos de vazão normal e os transportam em direção ao oceano. Meade (1969) também observou que nos momentos de alta vazão, a intrusão salina pode ser empurrada em direção à região costeira e causar um transporte de sedimento diretamente para o oceano.

4.2 Padrão de circulação da Baía do Espírito Santo

A maior ocorrência de ondas com alturas significativas abaixo de 1,5 m está de acordo com a análise de dados realizados por Pianca et al. (2010) e Albino et al. (2018) na plataforma continental do Espírito Santo (Fig. 12). O período de pico das ondas abaixo de 12 s indica a maior frequência das vagas na área de estudo com a diminuição da altura significativa da onda na região mais interna da BES, uma vez que as ondas incidentes já chegam com parte da sua energia atenuada pela interação com a morfologia e fundo da baía em decorrência dessa área ser mais rasa e abrigada.

A incidência de ondas comumente advindas de E-S na BES é uma resposta à orientação da costa na região de Vitória (sentido NE-SO), refração das ondas pelo fundo e atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), sendo as ondas entre E-SE mais relacionadas a períodos de “tempo bom” com ventos locais predominantes de NE-E, enquanto as ondas de SE-S são resultantes da atuação de sistemas frontais ligados à chegada de frentes frias na região com predominância de ventos da mesma direção (Amarante et al., 2009; Parente et al., 2015; Albino et al., 2018). Quando se compara os padrões das ondas na entrada e na região central da BES, observa-se uma deflexão da direção das ondas incidentes para sul (Fig. 4), sendo esta relacionada à difração e refração das ondas pela interação com o enrocamento do porto e a topografia de fundo, respectivamente, conforme também observado por Melo e Gonzalez (1995).

A alternância da direção preferencial das ondas incidentes na BES, advindas de E-SE ou SE-S, coincidiu com a alteração dos padrões de correntes ao longo de toda a coluna d'água na BES (Fig. 5 e 6) e vai de encontro aos resultados dos estudos de Neves et al. (2012) e Bastos et al. (2014) que classificam a circulação e ressuspensão sedimentar na região do embaiamento da BES como dominada por ondas. Na entrada da BES, a predominância de correntes para O-SO durante a atuação das ondas de E-SE está associada à ocorrência de ventos predominantes de NE-E localmente. A chegada de sistemas atmosféricos frontais na região com ventos de SE-S modificam a circulação local que passa a ter predominância de correntes para NE-E (Fig. 12). Esses padrões observados são aderentes à teoria de geração de correntes superficiais pela ação do vento, a qual está relacionada ao cisalhamento do vento superficialmente na coluna d'água e a atuação da força de Coriolis que geram uma deflexão da direção da corrente para a esquerda no hemisfério sul (Richman et al., 1987; Gnanadesikan e Weller, 1995).

Na região central da BES, a coluna d'água apresentou um padrão de circulação em duas camadas durante a atuação de ondas de E-SE, onde as correntes são direcionadas para SE-SO superficialmente e para N-NO nas camadas mais profundas (Fig. 6a). A corrente superficial preferencialmente direcionada para a saída da BES evidencia a presença de uma corrente transversal gerada a partir da deriva litorânea da praia de Camburi, orientada para NE, durante a incidência desse padrão de ondas (Albino et al., 2016). Já as correntes abaixo de 8 m estão relacionadas às correntes para N-NO induzidas pela difração e refração das ondas incidentes no mole e canal do Porto de Tubarão, respectivamente (Melo e Gonzalez, 1995).

Quando as ondas incidem de SE-S, a sua atuação direta na BES gera correntes transversais que passam a ter importância ao longo de toda a coluna d'água na porção central da baía (Fig. 6b). Esse fato também foi observado durante a coleta dos perfis de corrente, próximo à Bacia de Evolução do porto, com atuação de ondas de SE-S (Fig. 7a, c), quando as correntes inverteram a sua direção resultante de NE-E (enchente) para SO-O (vazante) ao longo do ciclo de maré. Durante a incidência de ondas de E-SE, as correntes tiveram uma direção preferencial para O-SO ao longo de todo o ciclo de maré (Fig. 7b, d).

4.3 Influência do alto-fundo na hidrodinâmica local

A partir da análise dos perfis de correntes coletados próximos à Sobrebaía do porto e alto-fundo da BES, um aumento entorno de 60% nas velocidades das correntes paralelas ao canal foi observado na maré vazante e enchente em ambos os períodos de coleta (Fig. 13). Já as correntes perpendiculares ao canal não apresentaram variações significativas espacialmente. Durante atuação de ondas de SE-S, a circulação paralela ao canal tendeu a apresentar duas camadas entre o alto-fundo e a sobrebaía na maré enchente, evidenciando uma subsidência de água próxima ao alto-fundo com as correntes entrando na BES pela camada superficial e se direcionando para dentro da sobrebaía na camada intermediária e de fundo (Fig. 13b). Na maré vazante, além do aumento da turbulência com a formação de vórtices próximos ao alto-fundo, a presença de uma corrente contrária ao fluxo superficial, em direção a sobrebaía, é observado na camada intermediária e de fundo (Fig. 13a). Durante a atuação de ondas de E-SE na BES, a

formação de vórtices nas imediações do alto-fundo continua presente, mas não foi identificado um padrão claro de circulação nessa porção da baía.

Do ponto de vista da mecânica dos fluidos, a velocidade de um escoamento tende a aumentar ao passar de uma seção com maior para menor área, em função da pressão do fluido ser mais elevada na maior área quando comparada a menor, de modo a manter o fluxo constante (Resnick et al., 2012). Além da elevação da velocidade das correntes próximas aos alto-fundos, Ginsberg e Aliotta (2019) também observaram o crescimento da turbulência com a formação de vórtices, bem como presença de movimentos verticais significativos nessa região, assim como observado no presente estudo. Segundo Schmeeckle et al. (1990) e Best (2005), estes movimentos verticais juntamente com a circulação turbulenta gerada pela interação do fluxo com a morfologia de fundo são os principais responsáveis pelos processos de ressuspensão, transporte e deposição próximos de regiões com estruturas rígidas e alto-fundos.

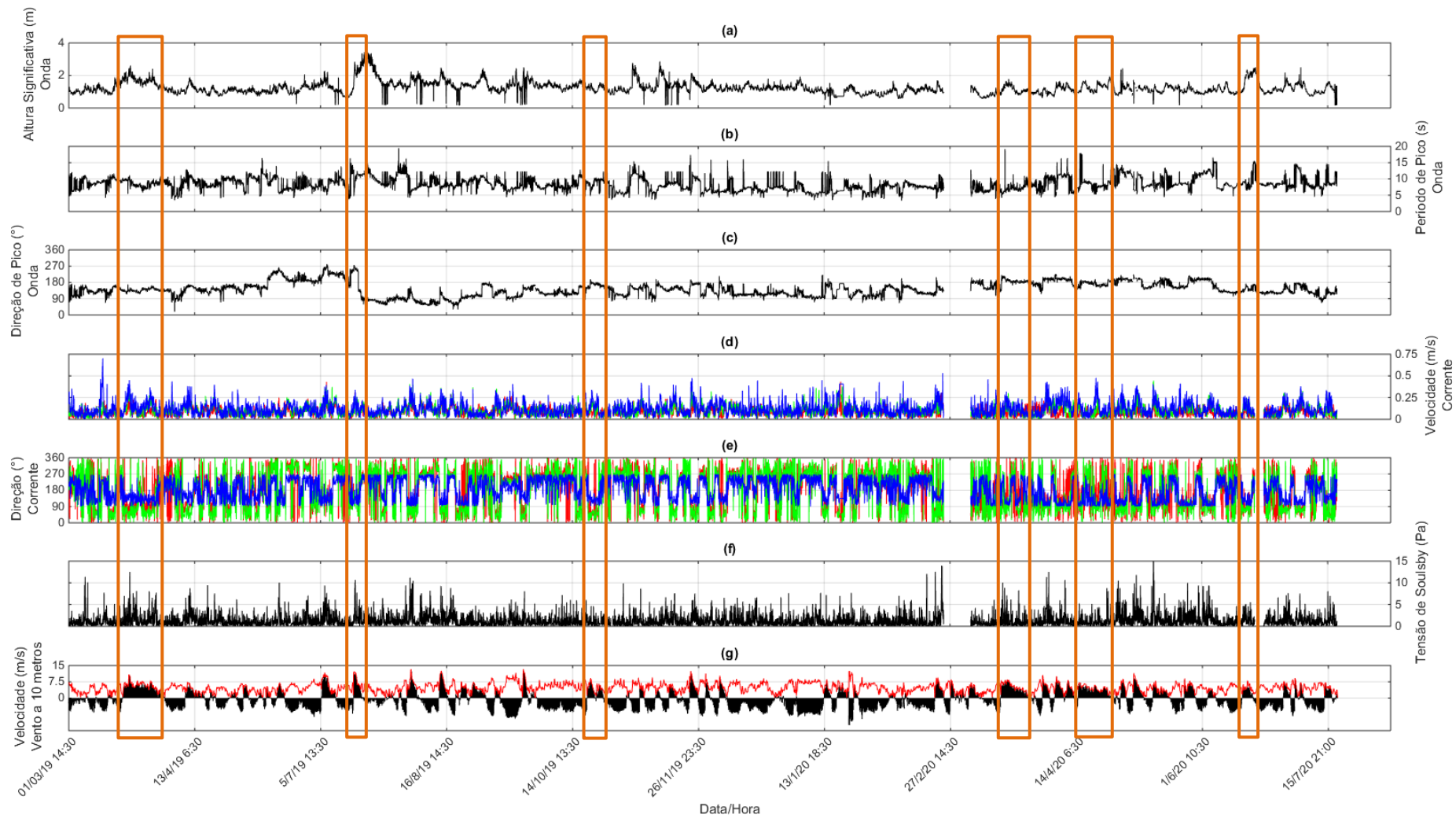
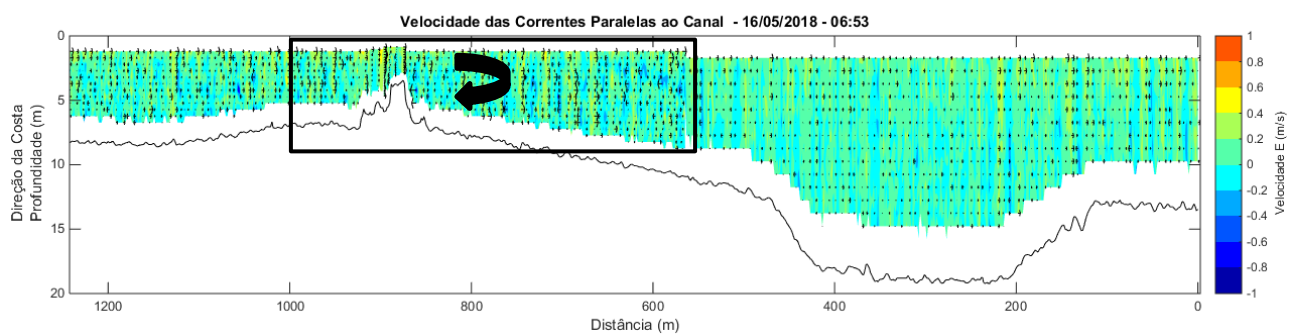
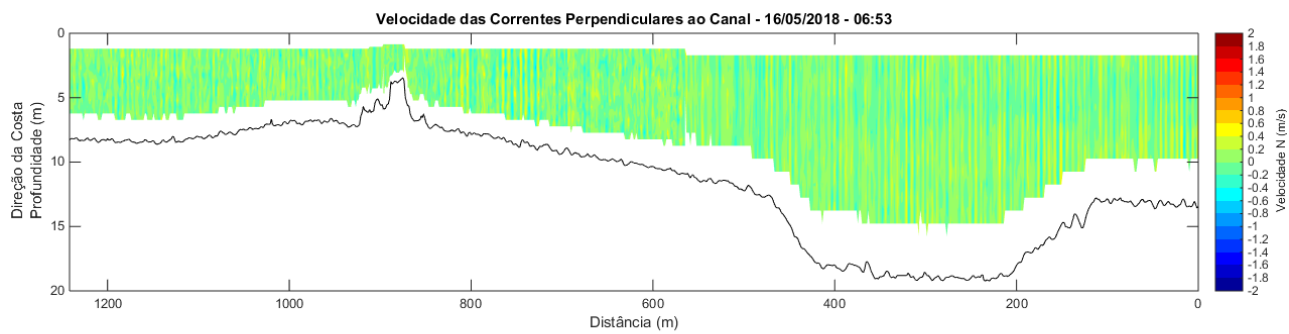
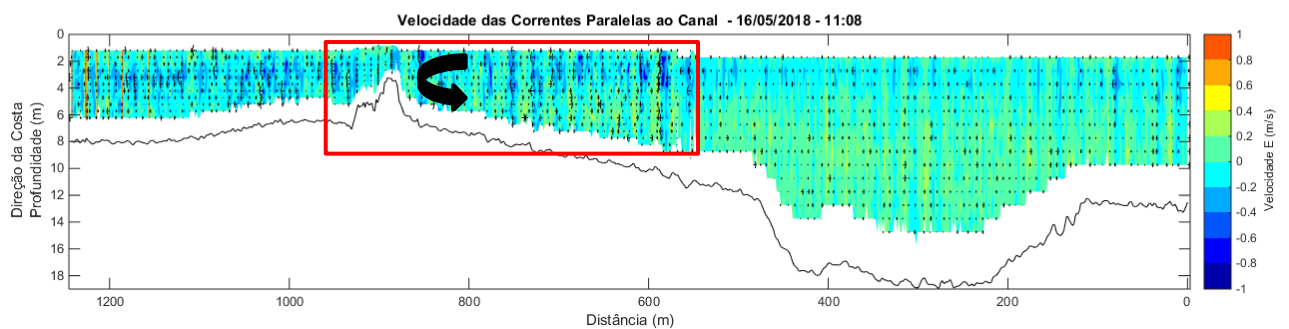
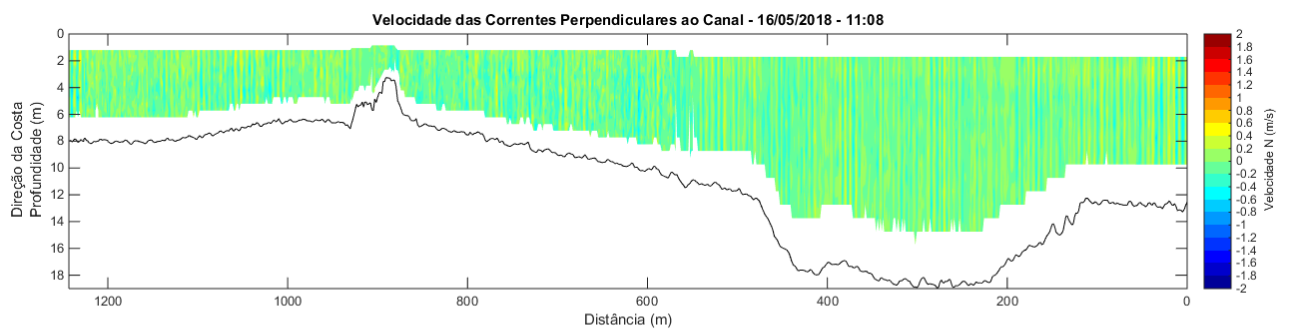


Figura 12 – Integração dos dados hidrodinâmicos coletados entre março de 2019 e julho de 2020 na entrada da Baía do Espírito Santo pelo ADCP4. São apresentados dados de altura significativa (a), período de pico (b) e direção de pico (c) das ondas, além da velocidade (d) e direção das correntes (e) de superfície (azul), meio (verde) e fundo (vermelho); tensão de cisalhamento de Soulsby (f) e a intensidade e direção do vento (g) no mesmo período. Entre 25/02 e 11/03/2020 houve falha na coleta dos dados hidrodinâmicos, portanto há uma ausência de dados nesse período. Os retângulos vermelhos evidenciam a relação entre a chegada de frentes frias e a mudança no padrão de correntes e ondas na região de estudo.



(a)



(b)

Figura 13 – Perfis de velocidade das correntes perpendiculares e paralelas ao Canal de Acesso do Porto de Tubarão, durante as marés vazante (a) e enchente (b) do dia 16/05/2018. Retângulo preto indica área com maior intensidade das correntes e presença de vórtices. Já o retângulo vermelho apresenta área com circulação em duas camadas. Os valores positivos indicam correntes em direção do Canal de Acesso, enquanto valores negativos representam correntes direcionadas para o alto-fundo.

4.4 Assoreamento no Porto de Tubarão

A maior acreção de sedimento próximo ao sopé dos taludes do Canal de Acesso, a norte da Baía de Evolução e entre os Berços dos navios está associada a dois fatores principais (Fig. 9a). Um deles foi a ocorrência de movimentos de massa em algumas regiões de talude entre a dragagem de manutenção finalizada em junho de 2015 e o levantamento hidrográfico de acompanhamento realizado em maio de 2017 (Fig. 14a,b). Nestas regiões, taludes com declividade entorno de 30 graus, em relação à vertical, tenderam a se estabilizar com ângulos maiores que 45 graus, após acomodação de material no sopé. Essa ocorrência é corroborada pela indicação de estabilização de taludes em solo de argila dura à média, conforme presente na região (Loureiro et al., 2013), com inclinações menores do que 1/1 (Brighetti e Martins, 2001). A ação dos efeitos gravitacionais, a partir da remobilização gerada pela atuação das correntes e ondas, também é um importante fator desencadeador de movimentação do sedimento inconsolidado presente no talude para o fundo do canal (van Rijn, 2018). Não foram observados movimentos de massa entre maio de 2017 e abril de 2018, uma vez que a declividade dos taludes nos dois momentos foi similar. Vale ressaltar que essas instabilidades no talude foram identificadas pontualmente nas áreas entre a Sobrebaía e Baía de Evolução e em partes do Canal de Acesso.

Outro fator responsável pela formação de regiões de acreção e erosão na área de navegação do Porto de Tubarão tem relação com a ação da propulsão dos navios próxima ao fundo, onde estão situadas as suas rotas principais no Canal de Acesso, região de manobras de atracação/desatracação na Baía de Evolução e áreas dos Berços nos píeres de minério. Esta ação cria uma circulação local ressuspensando parte do sedimento depositado e transportando para áreas proximais com acúmulo de material no sopé dos taludes (Fig. 14b). Portanto, essas regiões onde há a passagem e presença rotineira de navios tenderam a apresentar erosão do fundo entre julho de 2015 e abril de 2018.

A ocorrência de problemas oriundos da erosão e deposição do sedimento ressuspensado pela ação da propulsão dos navios em regiões portuárias vem sendo rotineiramente identificada na literatura (Chait, 1987; Hamill et al., 1999; Mujal-Colilles et al., 2017). O desenvolvimento da indústria naval nas últimas décadas com o aumento da capacidade de carga, dimensão dos navios e força das suas propulsões tem elevado a

ocorrência de problemas estruturais e operacionais em portos de todo o mundo (Castells et al., 2018). A magnitude dos processos de erosão e deposição decorrente da ação da propulsão também vem sendo atribuído ao aumento da frequência das manobras nos portos. Apesar de vários estudos terem sido realizados a partir de formulações criadas para reprodução da circulação gerada pela propulsão próximo ao fundo (PIANC, 2015), experimentos em laboratório (Chiew e Lim, 1996; Hong et al., 2013) e modelos matemáticos (Mujal-Colilles et al., 2018), geralmente as previsões obtidas ainda diferem muito dos resultados encontrados nos casos reais. Portanto, experimentos e análises de campo específicas para cada caso ainda são necessárias para melhor entender e prever a erosão e deposição decorrente da propulsão dos navios nos portos.

A não linearidade da taxa de assoreamento observada na área do Porto de Tubarão, quando se comparam o período entre julho de 2015 e abril de 2017 com o intervalo entre maio de 2017 a abril de 2018 (Tab. 2), foi controlada pela maior ou menor disponibilidade de sedimento em suspensão (MPS) na BES e pelas mudanças na dinâmica meteo-oceanográfica da área de estudo, assim como também evidenciado por Ezzeldin et al. (2019) para diversos portos no mundo.

A partir da análise histórica dos dados hidrodinâmicos, pode-se inferir que as principais fontes de sedimento inconsolidado para BES são oriundas da BV e da remobilização e transporte de material presente na plataforma continental adjacente para dentro da baía. A tendência de exportação observada da BV para a BES, principalmente durante eventos de alta pluviosidade na região e aumento das vazões médias do rio Santa Maria da Vitória (Seção 4.1), deixa evidente o aporte de MPS na BES durante esses períodos. Como o sedimento superficial fino encontrado no canal do porto tende a não ser depositado e ficar em suspensão na região da BES (Seção 3.4), o seu transporte resultante está fortemente relacionado ao padrão hidrodinâmico atuante. Esse fato permite concluir que o aporte de MPS advindo da plataforma continental adjacente ocorre em todas condições hidrodinâmicas, com modificação das principais áreas fonte a partir dos padrões dominantes de corrente e onda (Figs. 4 e 5). Entretanto, a ressuspensão e transporte de sedimentos mais grossos estão principalmente relacionados à atuação de ondas mais energéticas provenientes da chegada de frentes frias na região, oriundas de SE-S, com aumento da tensão de cisalhamento de fundo na BES (Fig. 12f), assim como também observado por Neves et al. (2012) e Bastos et al. (2014).

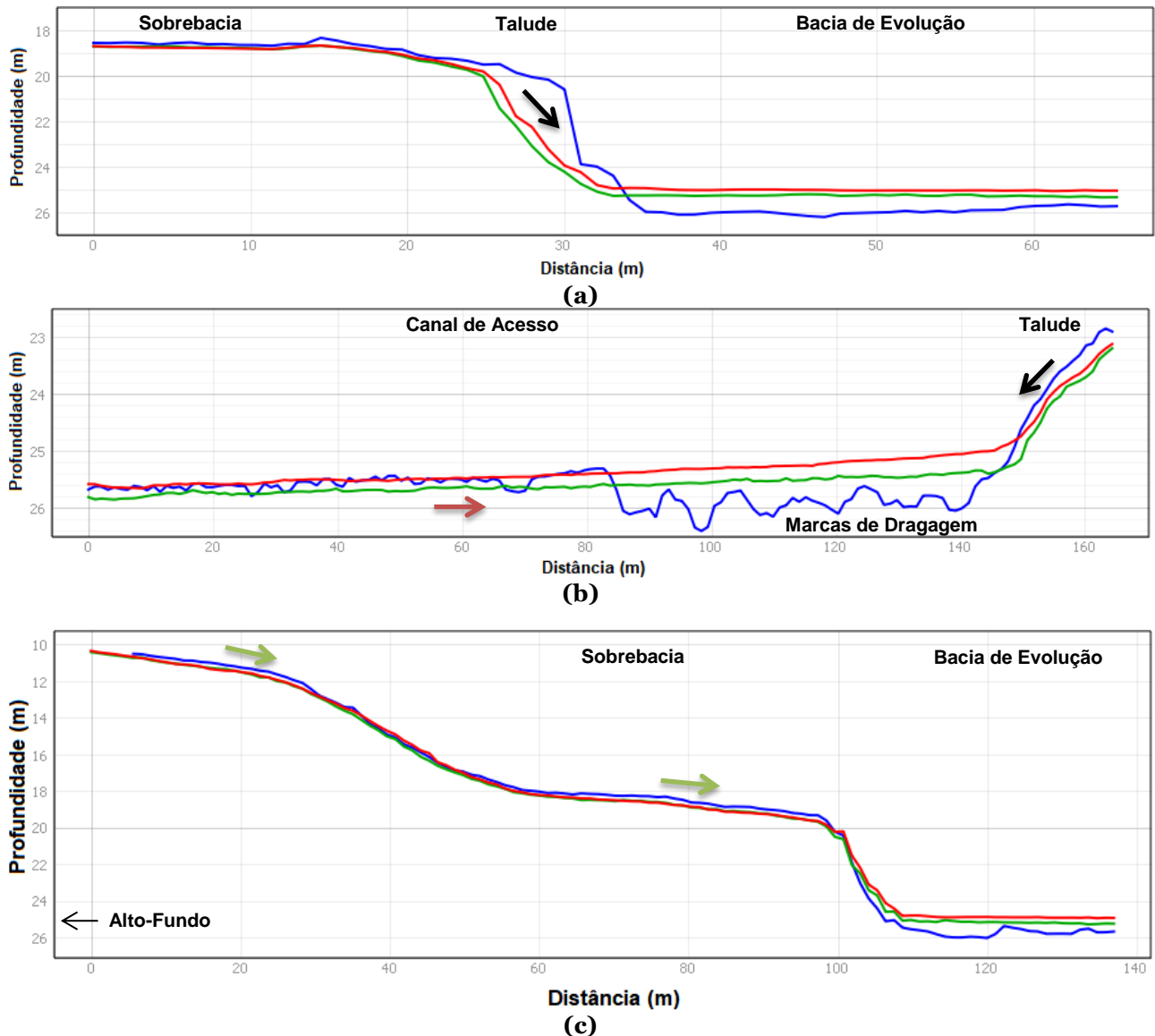


Figura 14 – Perfis de profundidade traçados no talude entre a sobrebacia e Bacia de Evolução (a,c) e no talude do Canal de Acesso (b), conforme localizações apresentadas na Fig. 4. A linha azul representa o levantamento realizado pós-dragagem em junho de 2015, enquanto as linhas verde e vermelha apresentam as profundidades em maio de 2017 e abril de 2018, respectivamente. As setas pretas indicam movimentos de massa nos taludes entre 2015 e 2018, enquanto a seta vermelha indica a erosão do fundo pela atuação local da propulsão dos navios e o deslocamento do material para próximo do sopé dos taludes. As setas verdes indicam erosão das áreas mais rasas (fora do canal e sobrebacia) e transporte para dentro a porção norte da Bacia de Evolução.

Durante o período de análise do assoreamento no Porto de Tubarão (Seção 3.3), observa-se um período seco entre maio de 2015 a abril de 2017, quando houve uma média de pluviosidade de 928,9 mm/ano, enquanto entre maio de 2017 e abril de 2018 pode ser considerado um período chuvoso, com pluviosidade média de 1699,8 mm/ano, uma vez que a média histórica de pluviosidade da região é de 1300 mm/ano (INCAPER, 2020). Esse fato é corroborado pela menor média de vazão ($4,9 \text{ m}^3/\text{s}$) do rio Santa Maria

da Vitória no mesmo período entre 2015 e 2017, quando comparado aos meses analisados entre 2017 e 2018 ($11,3 \text{ m}^3/\text{s}$). Portanto, a partir dos diferentes regimes hidrológicos ocorridos na região, associados ao seu respectivo padrão de circulação resultante (Seção 4.1), presume-se uma maior disponibilidade de MPS na BES entre 2017 e 2018, quando comparado ao período de 2015 a 2017.

Quando se analisa a incidência das ondas nos períodos de estudo do assoreamento no porto (Fig. 15), observa-se uma significativa maior ocorrência de ondas de SE-S entre 2017 a 2018, associadas à chegada de frentes frias, quando comparado ao período entre 2015 a 2017. Portanto, entende-se que os padrões gerais de circulação na BES também foram diferentes entre os períodos dos levantamentos batimétricos realizados, assim como verificado pela análise dos dados hidrodinâmicos entre 2019 e 2020 (Seção 4.2).

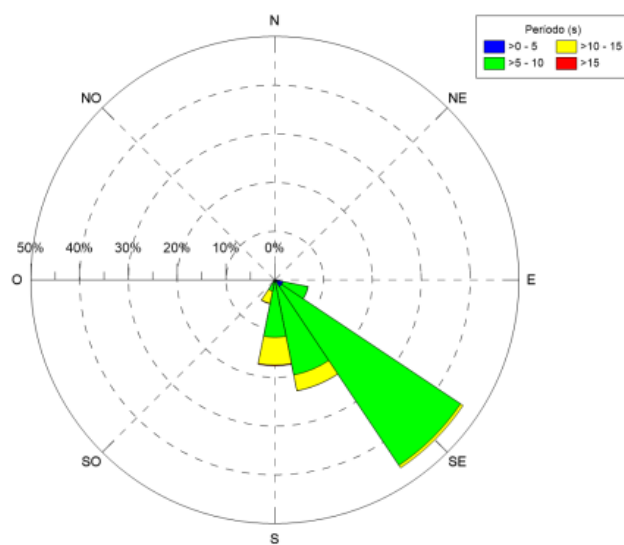
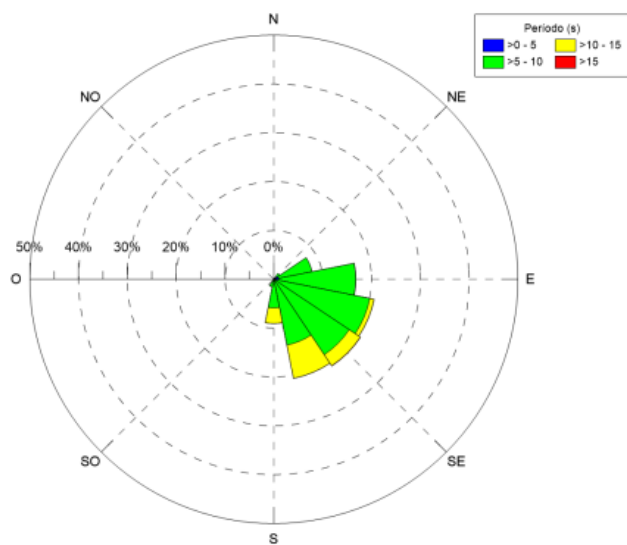
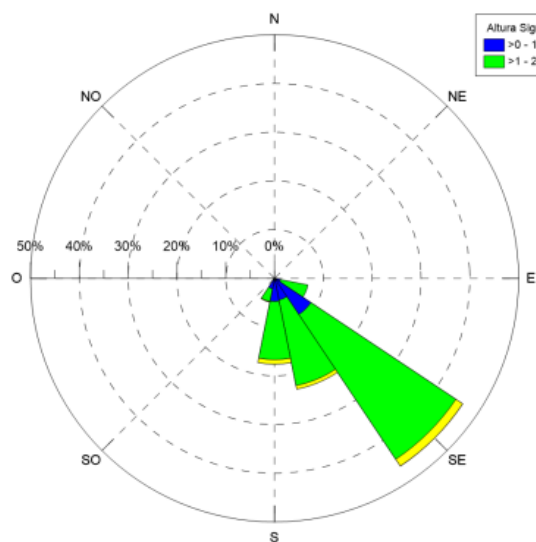
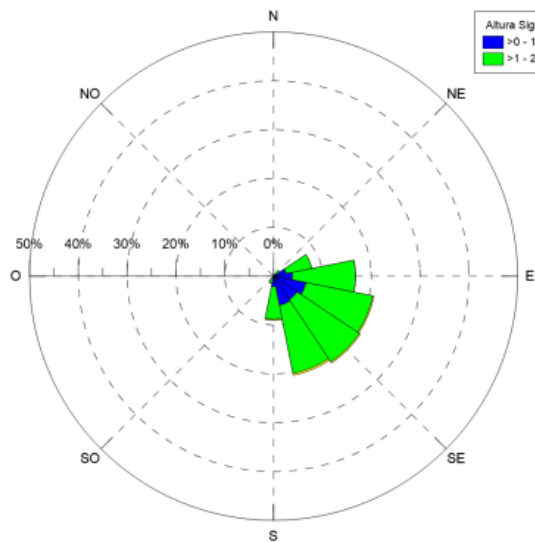
Portanto, a maior ocorrência de ondas mais energéticas de SE-S levou ao estabelecimento de um padrão de circulação onde as correntes transversais, alinhadas à orientação da BES (NE-SO), passaram a ser mais constantes e influentes entre 2017 e 2018. Esse fato associado à maior disponibilidade de MPS na coluna d'água da BES pela exportação da BV, bem como a maior ressuspensão de sedimento da plataforma continental adjacente e da própria baía nesse período, tenderam a gerar um transporte resultante de sedimento para NE/E (Fig. 16b). Conseqüentemente, isso levou ao aumento de transporte sedimentar em direção à região do canal do Porto de Tubarão entre 2017 e 2018, corroborando o maior assoreamento observado na área do porto nesse período. As correntes de fundo orientadas para dentro da bacia e sobrebaía, durante períodos de maré enchente e atuação de ondas de SE-S (Fig. 13b), também parecem erodir, ressuspender e transportar sedimento do leito marinho entre o alto-fundo e o início do talude para dentro do canal do porto.

Apesar do padrão de circulação característico da BES nos momentos de “tempo bom”, com ondas na entrada da baía oriundas de E-SE, também promover transporte sedimentar da plataforma continental adjacente para dentro da BES e canal do porto (Fig. 16a), há uma menor disponibilidade de MPS nesse período em decorrência do menor aporte da BV, menor ressuspensão do sedimento de fundo pela atuação de ondas menos energéticas e o impedimento de um efetivo transporte por correntes transversais da

região interna da BES, geradas pela corrente longitudinal da praia de Camburi, para região do porto por conta do alto-fundo presente na área central da baía.

ADCP4 - Porto de Tubarão - Julho de 2015 a Abril de 2017

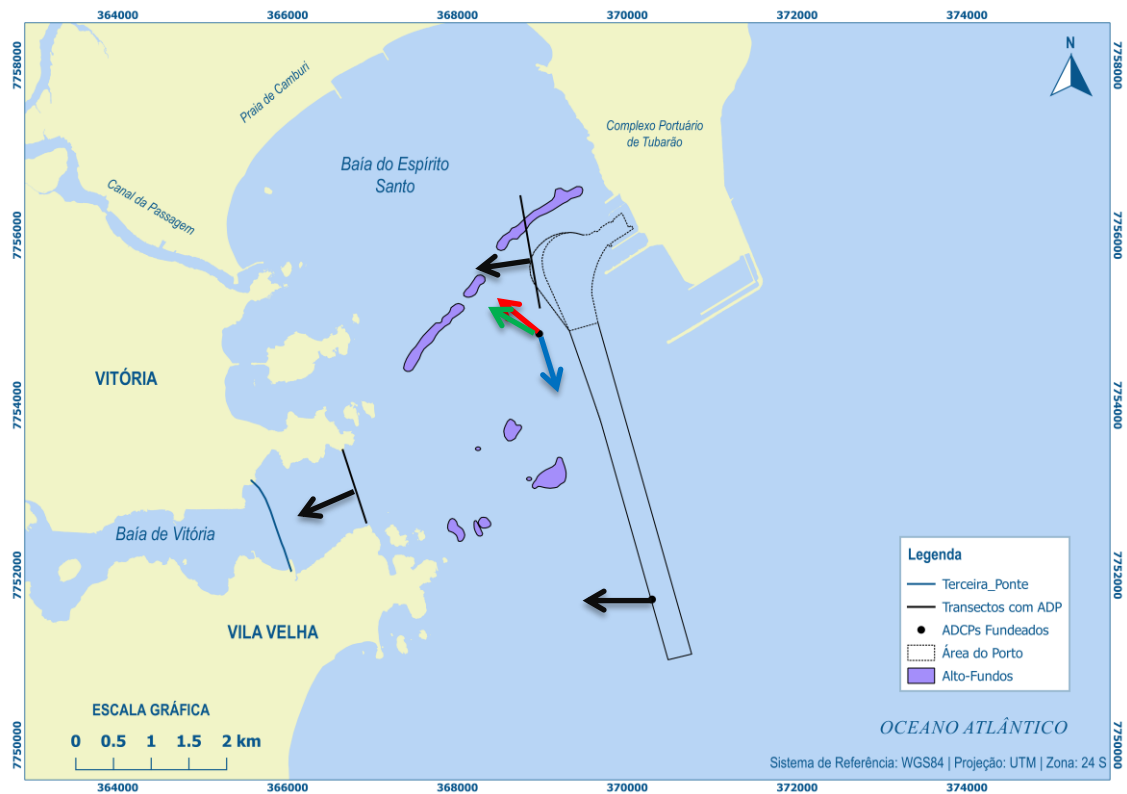
ADCP4 - Porto de Tubarão - Maio de 2017 a Abril de 2018



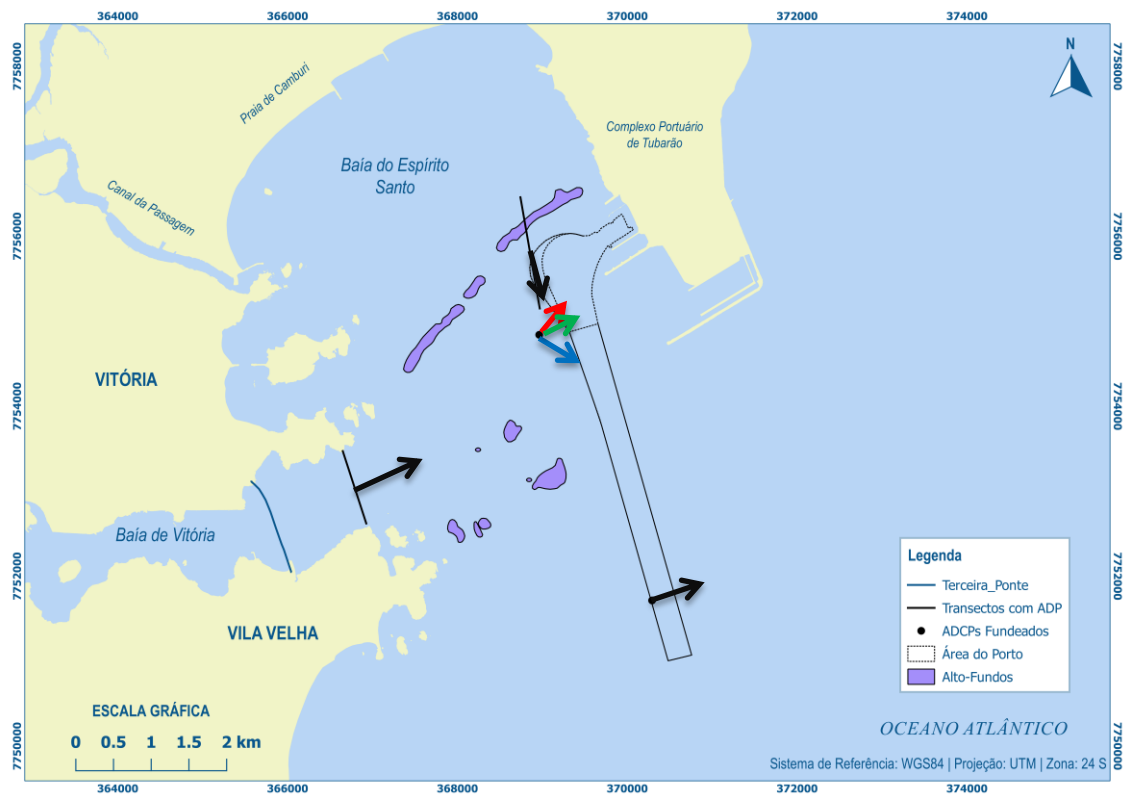
(a)

(b)

Figura 15 – Padrão de altura significativa e período de pico das ondas observadas pelo ADCP4 localizado na entrada da BES entre (a) julho de 2015 a abril de 2017 e (b) maio de 2017 a abril de 2018.



(a)



(b)

Figura 16 – Circulação resultante na BES e BV em condições de onda de E-SE e baixa pluviosidade (a), e sob influência de ondas de SE-S e alta pluviosidade (b). As setas azuis, verdes, vermelhas e pretas indicam a direção resultante das correntes na superfície, meio, fundo e a partir da integração da coluna d’água.

5. CONCLUSÃO

A partir da análise integrada de dados pluviométricos, hidrológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e sedimentares, coletados entre 2015 e 2020 na BES e adjacências, foi possível identificar os principais processos responsáveis pela variabilidade do assoreamento no Porto de Tubarão. Em decorrência da necessidade de realização de dragagens periódicas para manutenção das profundidades navegáveis do porto, o entendimento da influência meteo-oceanográfica na dinâmica sedimentar próxima a região do Porto de Tubarão se torna fundamental para a eficiente gestão das suas áreas marítimas (canal de navegação, bacia de evolução e berços).

Apesar da plataforma continental adjacente e porção interna da BES possuírem regiões com sedimento superficial fino e potencial de ressuspensão/transporte para dentro da área do Porto de Tubarão, o fluxo resultante da BV para a BES, observado principalmente durante os períodos chuvosos, foi identificado como a principal fonte de material sedimentar na região. Durante o período de baixa pluviosidade região e consequente menor exportação de material sedimentar da BV, entre junho de 2015 e abril de 2017, houve uma menor taxa de assoreamento na área do porto (0,02 m/ano) decorrente do pequeno aporte de material sedimentar da região costeira adjacente. Além disso, na análise hidrodinâmica, o alto-fundo presente na região central da BES parece atuar como uma barreira para o transporte de sedimento próximo ao fundo da região interna para a porção central e externa da baía.

As mudanças no padrão de onda atuantes na BES também possuem grande influência na dinâmica sedimentar da região de estudo, uma vez que a circulação resultante da baía é alterada. O aumento da frequência de incidência de ondas de SE-S na BES foi observada simultaneamente à elevação da pluviosidade na região, possibilitando o aumento da exportação de sedimento da BV e o seu transporte preferencialmente para NE-E, como observado entre maio de 2017 e abril de 2018, quando foi verificada a maior taxa de assoreamento no Porto de Tubarão (0,35 m/ano).

Durante a incidência de ondas de SE-S, o predomínio da atuação de correntes transversais na porção central da BES foi observado. A interação destas correntes com a morfologia de fundo gerou uma circulação em duas camadas, próximo ao alto-fundo, com aparente subsidência das correntes superficiais durante a maré enchente, direcionadas para dentro da baía (N-NE). Isso proporcionou a formação de uma corrente no sentido

contrário (S-SO) para dentro da Sobrebaía e Baía de Evolução do porto na região mais profunda, que possivelmente contribui com transporte de sedimento para dentro da região norte da baía. Além disso, os movimentos de massa observados durante a acomodação dos taludes após a dragagem e a circulação gerada pela atuação da propulsão dos navios próxima ao fundo nas suas principais rotas também foram importantes para a ocorrência de acreção ou erosão localmente.

Como sugestão para trabalhos futuros, há a necessidade de se aprofundar no entendimento de cada processo identificado como contribuinte para o assoreamento no Porto de Tubarão. Estudos com a utilização de dados históricos e oriundos de novos monitoramentos contínuos podem gerar uma correlação quantitativa entre a variação da pluviosidade, balanço sedimentar da BV e incidência de ondas de SE-S com a taxa de assoreamento no porto. Também é importante ampliar o entendimento da variabilidade da circulação da BES e a sua interação com o alto-fundo da porção central da BES, de modo a quantificar a sua contribuição para o assoreamento observado na porção norte da Baía de Evolução do porto. Estudos mais aprofundados sobre a influência dos propulsores dos navios tipo do Porto de Tubarão na erosão e deposição identificada na área do porto, através da modelagem numérica calibrada com dados de campo, também são necessários para monitorar a formação de regiões de acúmulo de sedimento e manter a segurança da navegação.

CAPÍTULO 3

PROVENIÊNCIA DOS SEDIMENTOS FINOS NO PORTO DE TUBARÃO, BRASIL

1. INTRODUÇÃO

O assoreamento das áreas portuárias instaladas em regiões fluviais e costeiras é um fenômeno comum e está intimamente relacionado às condições ambientais e físicas da água, além da própria configuração geométrica do porto (van Rijn, 2016). Além disso, o crescente tamanho dos navios e o aumento das restrições da legislação ambiental, quanto à retirada do sedimento colmatado, tem tornado a manutenção das profundidades de navegação seguras dos portos um desafio. A busca por novas soluções viáveis de manipulação da dinâmica sedimentar têm sido constante na comunidade internacional (Kirby, 2011), mas como é comum a carência de conhecimento sobre as especificidades locais da dinâmica dos sedimentos, grande parte dos portos não realiza uma gestão efetiva do assoreamento.

As áreas dragadas e geralmente protegidas para as atividades portuárias se tornam regiões sem equilíbrio hidrodinâmico e como consequência, há um rápido acúmulo de sedimento fino após a sua retirada (Fettweis et al., 2016). Os potenciais impactos negativos do descarte desse material dragado são bem conhecidos quanto à dispersão de poluentes (Agunwamba et al., 2012), alteração nas comunidades bentônicas e pelágicas (Smith e Rule, 2001; Stronkhorst et al., 2003; Simonini et al., 2005), aumento da turbidez (Orpin et al., 2004; Fettweis et al., 2011) e mudanças na profundidade e hidrodinâmica local (Four e Lancker, 2008; Okada; et al., 2009; Stockmann et al., 2009).

A correlação entre as características sedimentológicas do sedimento superficial de fundo com a sua tendência de transporte e deposição tem sido amplo objeto de estudo (Mclaren, 1981; Mclaren e Bowles, 1985; Gao e Collins, 1992; Le Roux, 1994; Yamashita et al., 2011). Como a matéria orgânica pode ser retida em grandes quantidades no sedimento superficial de ambientes aquáticos (Burone et al., 2003; Buruaem et al., 2012; Hossain et al., 2014), estudos geoquímicos do sedimento de fundo também têm sido considerados efetivos para a determinação da dinâmica da matéria orgânica e avaliação da qualidade de ecossistemas aquáticos (Fry et al., 2003; Liu et al., 2006; Rumolo et al.,

2011; Di Leonardo et al., 2012; Gao et al., 2012), além de contribuir para distinção entre origens autóctone e alóctone do material depositado (Silliman et al., 1996).

O Porto de Tubarão, localizado em Vitória-ES, é um dos principais portos exportadores do Brasil e possui uma área de navegação com profundidades mantidas a partir de dragagens de manutenção rotineiras. A presença de sedimento fino e lama fluida dentro da área do porto é comum e foi bem caracterizada por Quaresma et al., (2011) e Bastos et al. (2014). Por estar situado em uma área de baía semi-exposta a fatores meteo-oceanográficos (Albino et al., 2018), próximo a regiões de considerável aporte fluvial impactado pela urbanização (Lehrback et al., 2016) e adjacente a depósitos de material fino na plataforma continental (Vieira et al., 2019), o entendimento da dinâmica responsável pelo assoreamento no Porto de Tubarão é complexo e requer uma análise holística do comportamento da área de estudo.

Sob a ótica da análise do sedimento superficial presente na área navegável do Porto de Tubarão e no seu entorno, esse estudo tem o objetivo de fornecer subsídios para o entendimento dos processos sedimentares responsáveis pelo aporte de sedimento inconsolidado no porto, bem como determinação da sua proveniência. Para tanto, análises sedimentológicas do sedimento de fundo e geoquímicas da matéria orgânica presente neste foram realizadas, sendo avaliadas as características granulométricas, densidade superficial, teor de matéria orgânica total (MOT) e teor de carbonato de cálcio (CaCO_3), além das concentrações de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta e análises sedimentares

No total, 91 amostras de sedimento foram coletadas com draga tipo Van Veen (Fig. 17) entre 28/02/2018 e 15/10/2019. A coleta e armazenamento das amostras de sedimento superficial de fundo seguiram as diretrizes apresentadas pelo Guia Nacional de Coleta de Amostras (ANA, 2011) e separadas em grupos de acordo com a região de coleta.

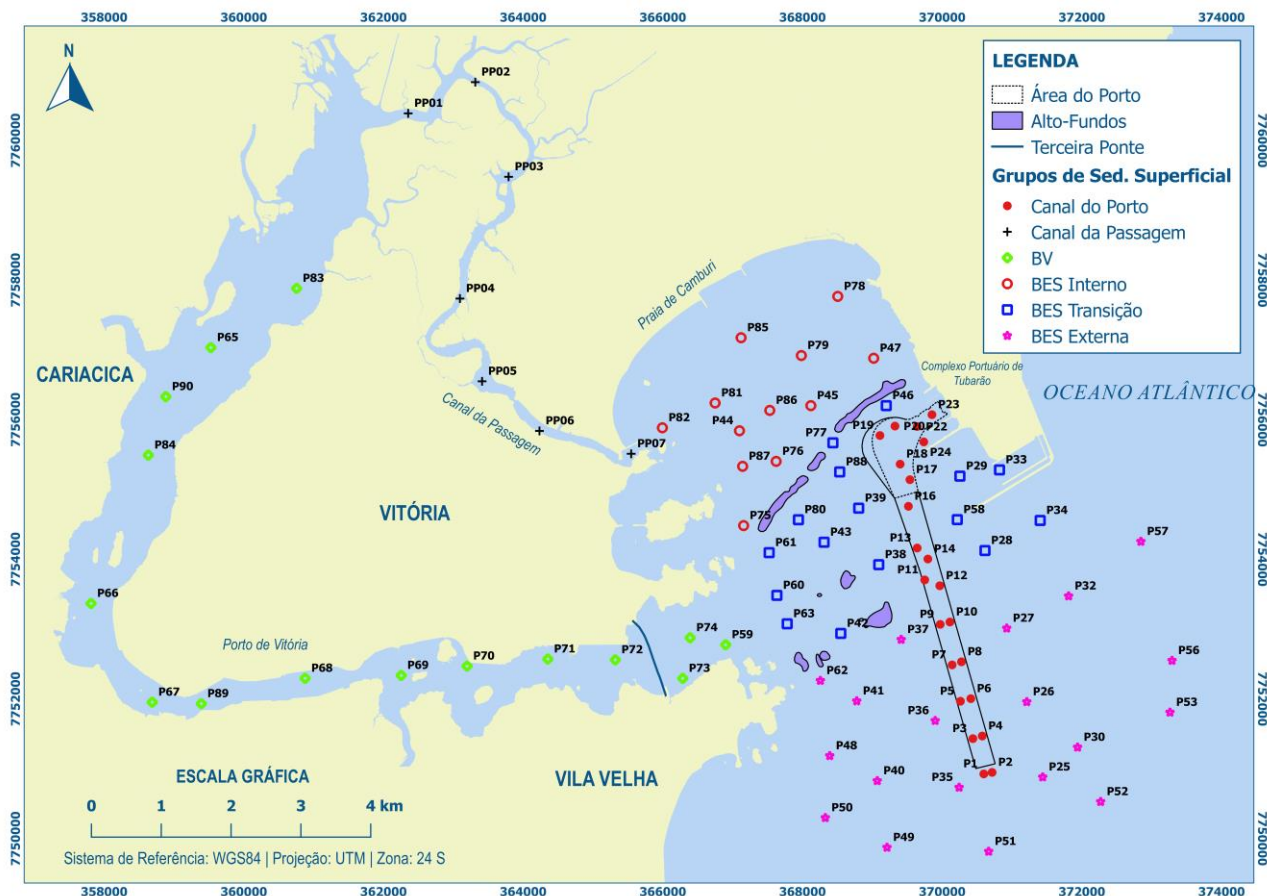


Figura 17 – Localização das amostras de sedimento superficial identificadas por grupo de análise, formados a partir da região de coleta de cada amostra.

Após a retirada de sal e secagem em estufa a 40°C, o sedimento foi pesado e posteriormente peneirado via úmida em peneira de 63 micrômetros para separação das frações cascalho, areia e lama. A granulometria das frações cascalho e areia foi determinada por peneiramento a seco de 0,5 em 0,5 phi e a fração lama foi levada ao granulômetro a laser, após a queima de MO com peróxido. Por fim, o cálculo dos parâmetros estatísticos das amostras foi realizado no software GRADISTAT, versão 9.1, e a classificação granulométrica foi aplicada com base em Dias (2004). Para determinação do teor de CaCO₃, entorno de 30 g de sedimento foi submetido à queima do carbonato com ácido clorídrico diluído a 10%. O teor de MO foi determinado pela queima em mufla de 2g de amostra a 550 °C por 4 horas. A densidade e o teor de água do sedimento superficial foram determinados de acordo com Amos et al. (1996). Vale ressaltar que a análise de densidade do sedimento foi realizada somente na fração lamosa superficial da amostra coletada, quando presente.

2.2 Técnicas analíticas da geoquímica

Para realização da análise elementar e isotópica da MO, as amostras de sedimento passaram por liofilização e retirada do carbonato de cálcio (CaCO_3) com 1M de ácido clorídrico (HCl). O processo de queima do CaCO_3 foi repetido por três/quatro vezes para a sua remoção completa do sedimento.

Para realização da análise elementar (COT e NT) pelo método de combustão a seco, entre 10 e 20 mg de sedimento foram pesadas dentro de cápsulas de estanho e inseridas em um Thermo Electron Flash Elemental Analyzer (EA 1112), após secagem do sedimento a 60 °C na estufa, de acordo com o proposto por Hedges e Stern (1984). Três corridas com cápsulas de estanho vazias foram realizadas para corrigir o efeito do C e N associado às cápsulas. Além disso, a calibração do aparelho foi realizada em triplicata com o padrão certificado IAEA USGS40, sendo aceito um desvio menor que $\pm 0,5$ ‰. Esses processos foram realizados no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LabGAm) da UFES.

A análise dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio foi realizada pelo Laboratório de Estudos Marinhos e Ambientais (LabMAM) da PUC-Rio. Cerca de 5 (+-1) mg de sedimento seco e sem CaCO_3 foram pesados e colocados em cápsulas de estanho para análise no Espectrômetro de Massa de Razão Isotópica Delta V Plus, acoplado ao EA 1112. O padrão IAEA USGS40 também foi usado para calibração e os resultados dos isótopos estáveis são reportados em delta (‰), conforme equação abaixo:

$$\delta (\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{Amostra}}}{R_{\text{Padrão}}} - 1 \right] (1000) \quad (6)$$

Onde δ (‰) representa $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, e R_{Amostra} e $R_{\text{Padrão}}$ são as razões isotópicas ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) das amostras e do padrão de referência, respectivamente.

2.3 Análise dos dados

Inicialmente a correlação não paramétrica de Spearman foi utilizada para identificar as possíveis correlações entre os parâmetros analisados nas amostras de sedimento. Posteriormente, a análise multivariada de Agrupamento de Observações (*Cluster Analysis*) foi aplicada para obtenção da similaridade entre as amostras coletadas, possibilitando a inferência das áreas fonte do sedimento colmatado no Porto de Tubarão.

O método de ligação de Ward e a medida de distância Euclidiana foram utilizados para realização da análise de agrupamento com os valores das variáveis padronizadas. Os grupos identificados passaram por uma análise multivariada da variância (MANOVA) para comprovar estatisticamente a diferença dos parâmetros entre os agrupamentos formados. A variação dos parâmetros analisados foram plotados em boxplot para cada grupo, de modo a melhor definir os seus principais parâmetros de influência. Por fim, um dendograma foi plotado para visualização dos agrupamentos formados.

3. RESULTADOS

Os resultados detalhados de todos os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos analisados no sedimento superficial se encontram na Tab. 6 do Anexo I.

3.1. Parâmetros sedimentológicos

A densidade superficial das amostras de sedimento variaram entre 601 kg/m^3 a 1651 kg/m^3 ($n = 65, \text{mediana} = 1031 \pm 185 \text{ kg/m}^3$) (Fig. 18). No canal do Porto de Tubarão, a densidade variou menos entre 909 kg/m^3 a 1202 kg/m^3 ($n = 20, \text{mediana} = 1033 \pm 80 \text{ kg/m}^3$). As menores densidades foram observadas nas proximidades de regiões com conhecido aporte de esgoto na BV e CP, enquanto na BES, as menores densidades foram encontradas na área externa ao canal do porto.

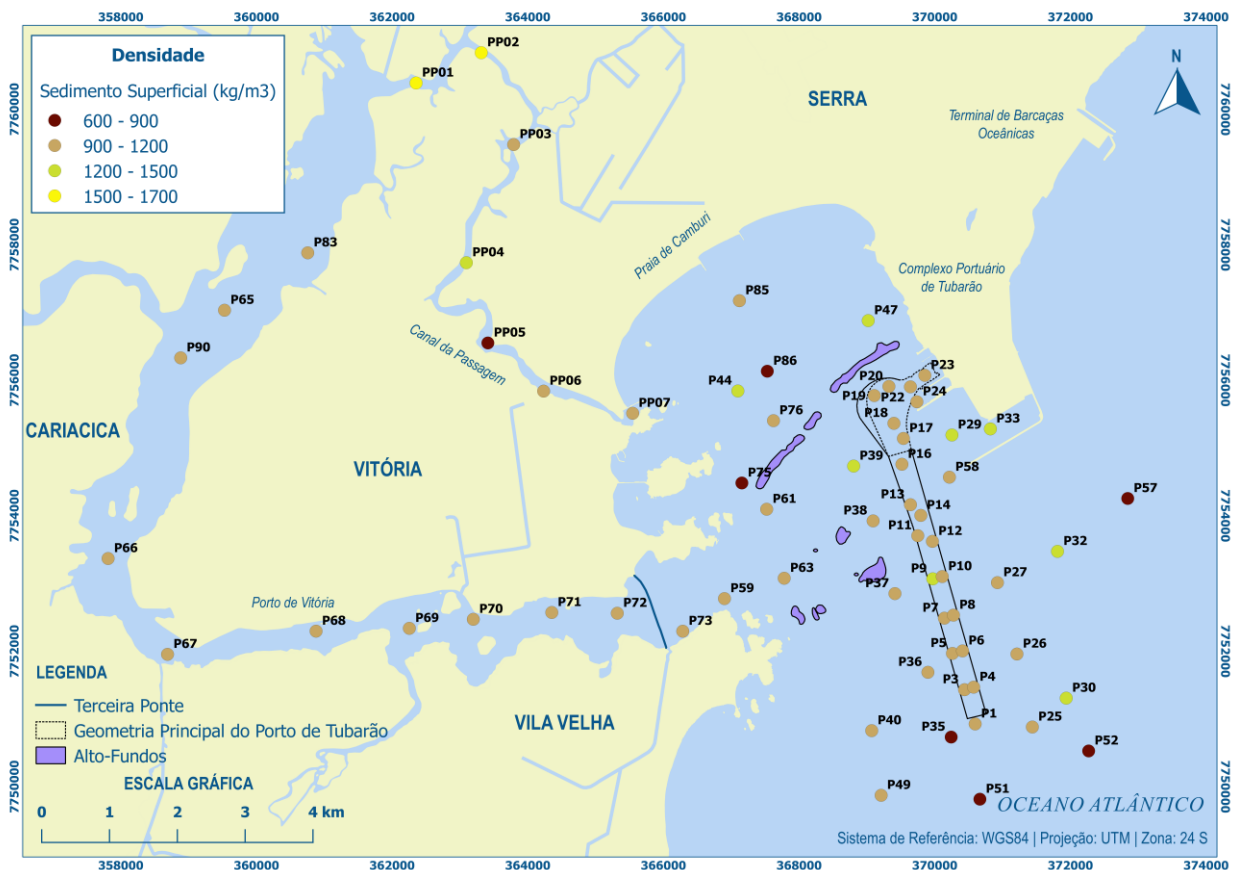


Figura 18 – Densidade do sedimento superficial na área de estudo.

O teor de lama variou consideravelmente entre 99,8% a 0,1% ($n = 91$, *mediana* = $40 \pm 40\%$) em toda a área de estudo (Fig. 19). Dentro do canal do porto, o fundo é composto basicamente por lama ao longo de toda a sua extensão ($n = 21$, *mediana* = $94,1 \pm 21\%$). Entretanto, alguns pontos de amostragem planejados na parte central da Baía de Evolução e Canal de Acesso tiveram que ser realocados durante as coletas em decorrência da não recuperação de sedimento inconsolidado. Nesses locais, o amostrador Van Veen retornava com pequenos fragmentos de material argiloso de consistência plástica e coloração esbranquiçada, conhecido como tabatinga e ligado a Formação Barreiras (Melo et al., 2002).

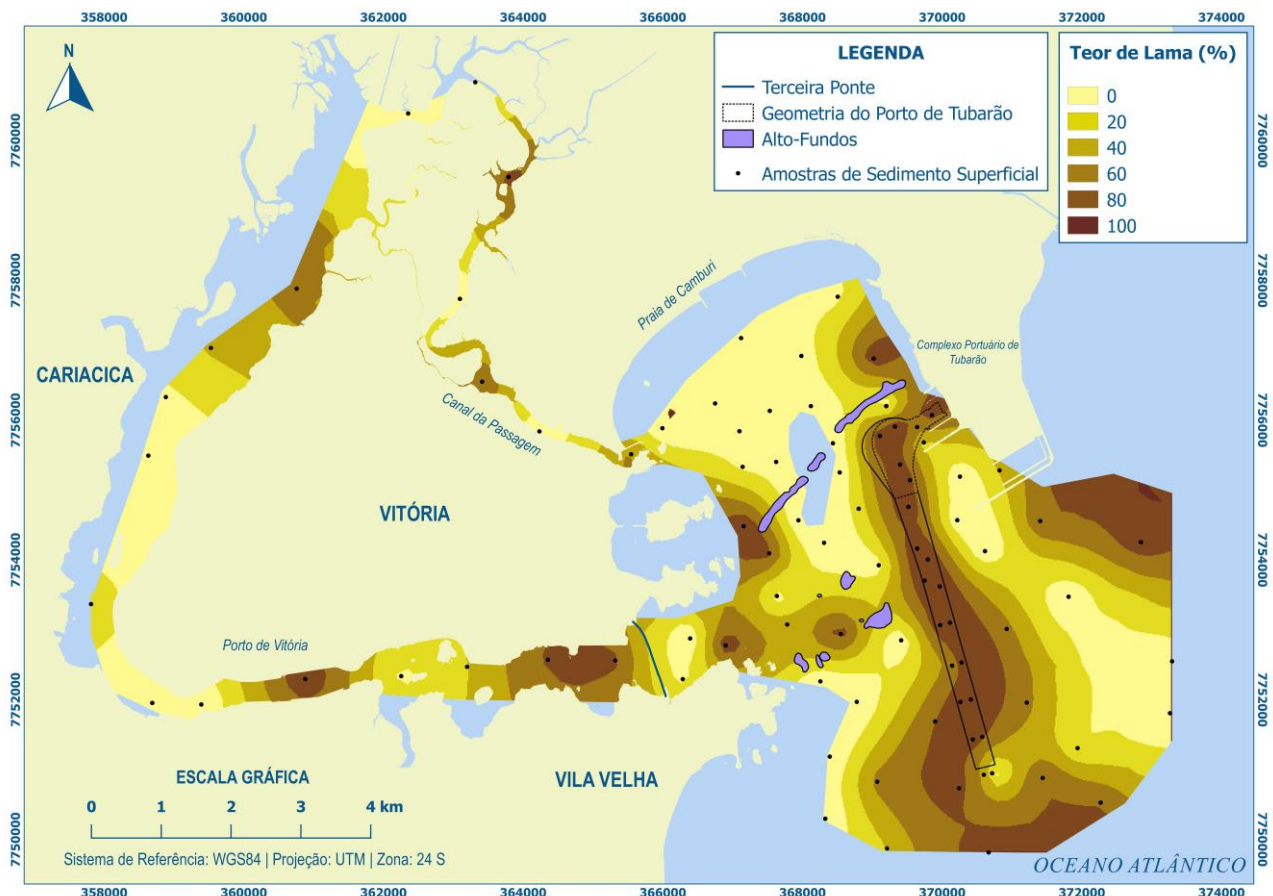


Figura 19 – Teor de lama no sedimento superficial da área de estudo.

O teor de MO variou entre 0,3% e 30,5% ($n = 91$, $mediana = 3,8 \pm 5,6\%$) nas amostras de sedimento superficial (Fig. 20), com teores maiores que 15% observados em áreas próximas de aporte de esgoto na BV e CP (PP03, PP05, P68 e P83). O ponto P51 localizado na área externa da BES apresentou alto teor de MO (20,7%) e possivelmente está relacionado à presença de organismos bentônicos no sedimento. Uma variação de 1% e 15,7% ($n = 21$, $mediana = 8,1 \pm 3,3\%$) no teor de MO foi encontrada dentro do canal do Porto de Tubarão, sendo a grande correlação entre a lama e MO responsável pela maior mediana observada nessa região.

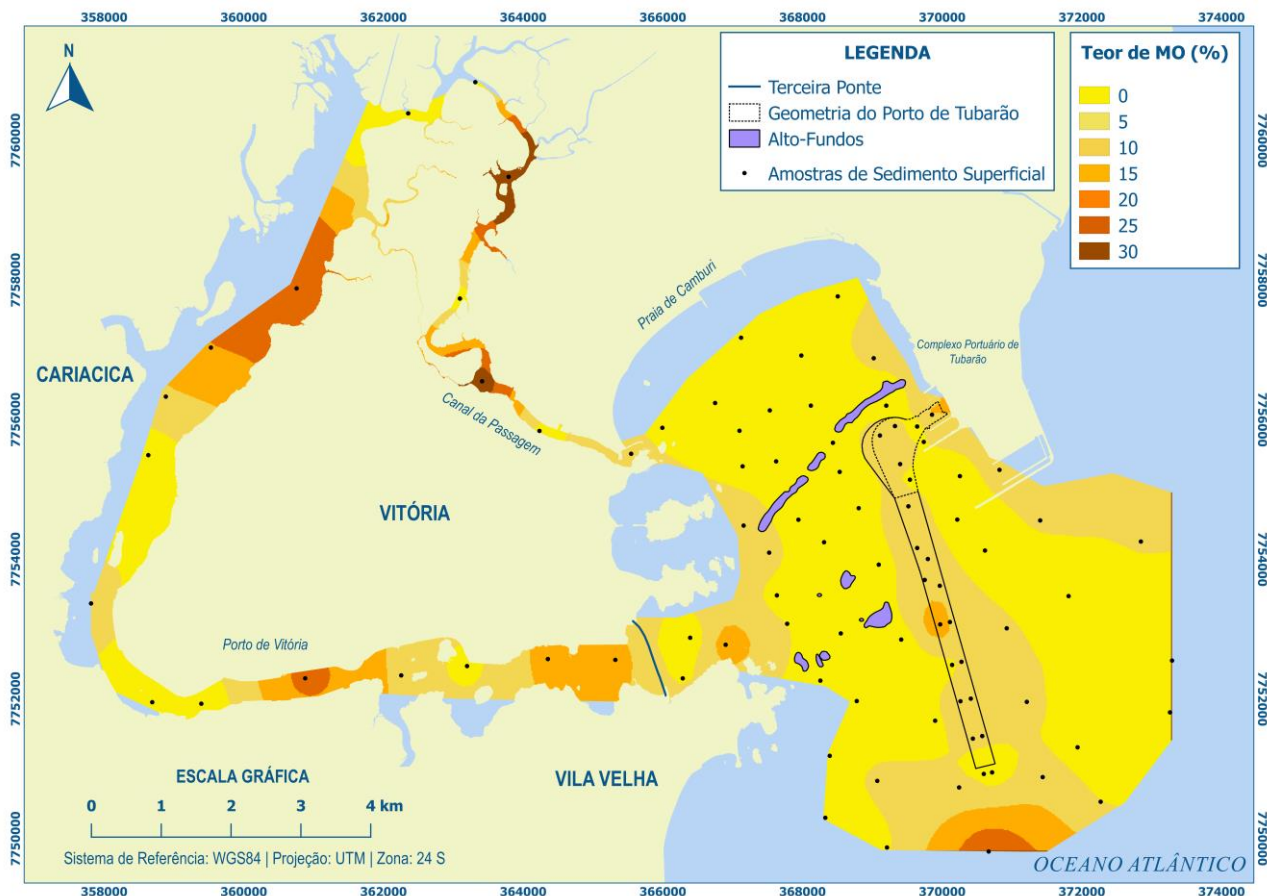


Figura 20 – Teor de matéria orgânica no sedimento superficial da área de estudo.

As amostras de sedimento superficial apresentaram variação entre 0,5% e 60% ($n = 91, mediana = 19 \pm 14,1\%$) para teor de CaCO_3 (Fig. 21), com maiores teores encontrados na área externa da BES, região norte da Praia de Camburi próxima ao Porto de Tubarão e associado a regiões com grande presença de bivalves no sedimento da BV (P65, P66 e P70). No canal do porto, duas áreas distintas foram observadas, sendo a região mais externa até as imediações dos pontos de amostragem P9 e P10 caracterizadas por um sedimento com maiores teores de carbonato de cálcio (geralmente $>30\%$), enquanto a região mais interna tendeu a apresentar teores menores.

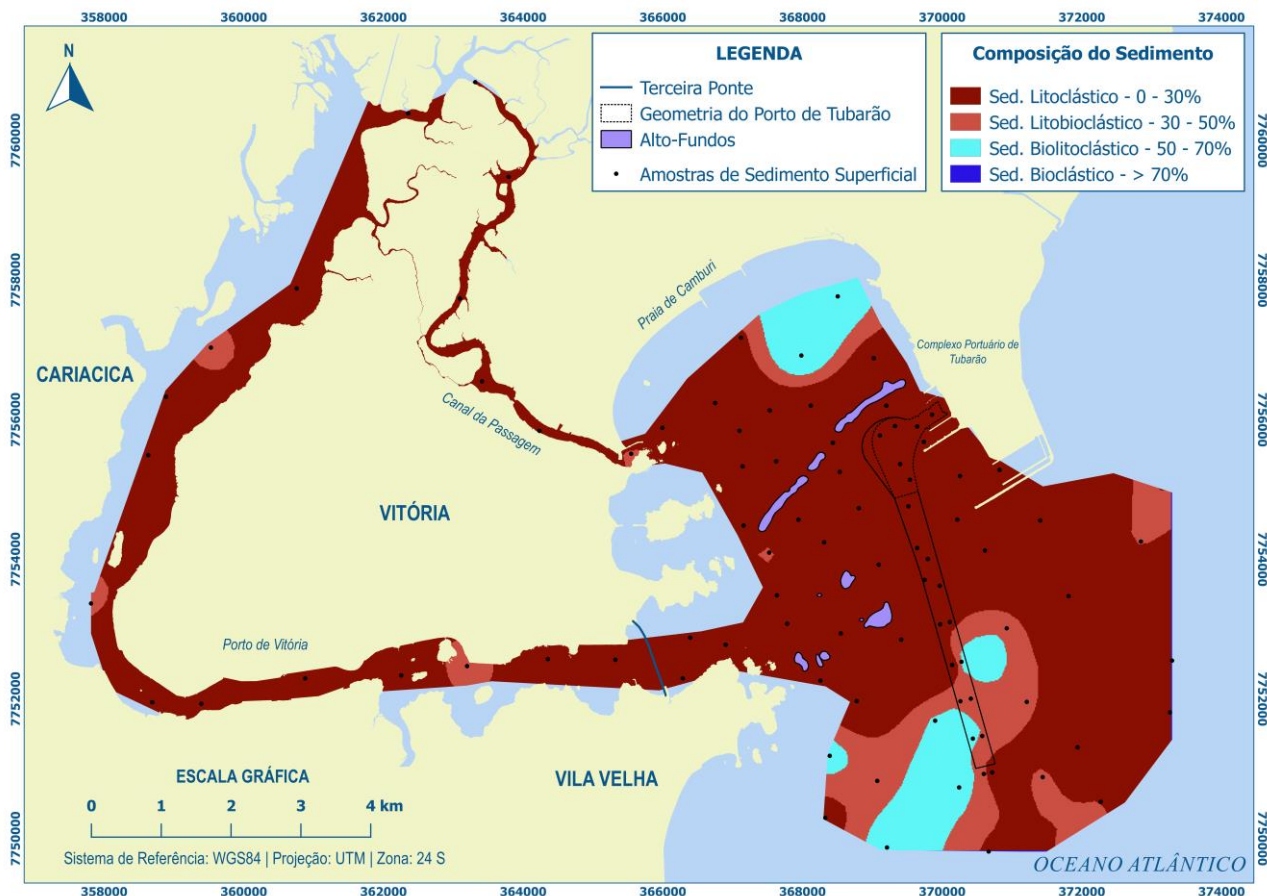


Figura 21 – Composição do sedimento superficial da área de estudo quanto ao teor de CaCO_3 .

3.2. Marcadores geoquímicos

Os valores de COT variaram entre 0,03% e 10,5% ($n = 91$, mediana = $1,3 \pm 1,8\%$), enquanto as porcentagens de NT oscilaram entre 0,01% e 0,81% ($n = 91$, mediana = $0,15 \pm 0,16\%$). O limite de detecção do carbono orgânico total (COT) e do nitrogênio total (NT) foram de 0,03% e 0,01%, respectivamente. O desvio padrão para as análises das amostras em duplicata foi de $+0,008\%$ para NT e $+0,091\%$ para COT. Esses parâmetros tiveram uma correlação positiva com o teor de lama, sendo os maiores valores de COT (Fig. 22) e NT (Fig. 23) observados próximo às saídas de esgoto no Canal da Passagem (PP03 e PP05) e Porto de Vitória. Houve uma baixa variação dos valores de COT e NT observados no canal do Porto de Tubarão, com alterações entre 0,69% e 2,5% ($n = 21$, mediana = $2,1 \pm 0,5\%$) e entre 0,09% e 0,3% ($n = 21$, mediana = $0,27 \pm 0,06\%$), respectivamente.

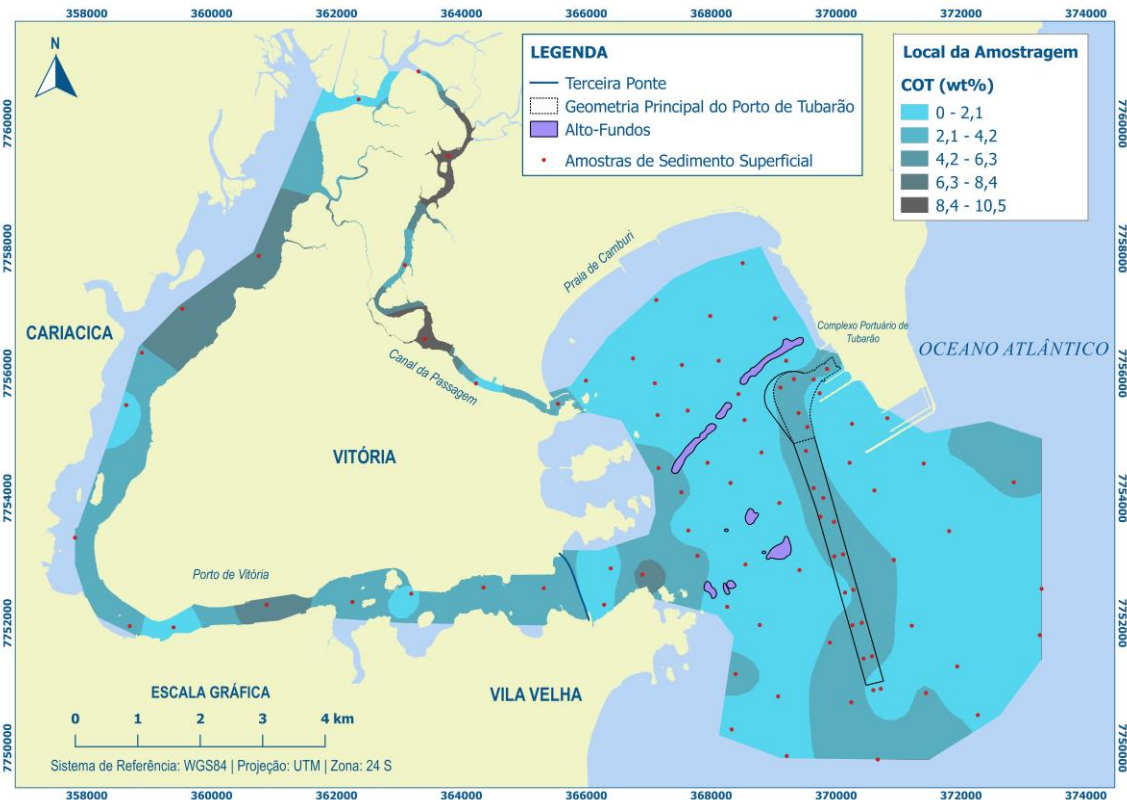


Figura 22 – Fração de massa de carbono orgânico total no sedimento superficial da área de estudo.

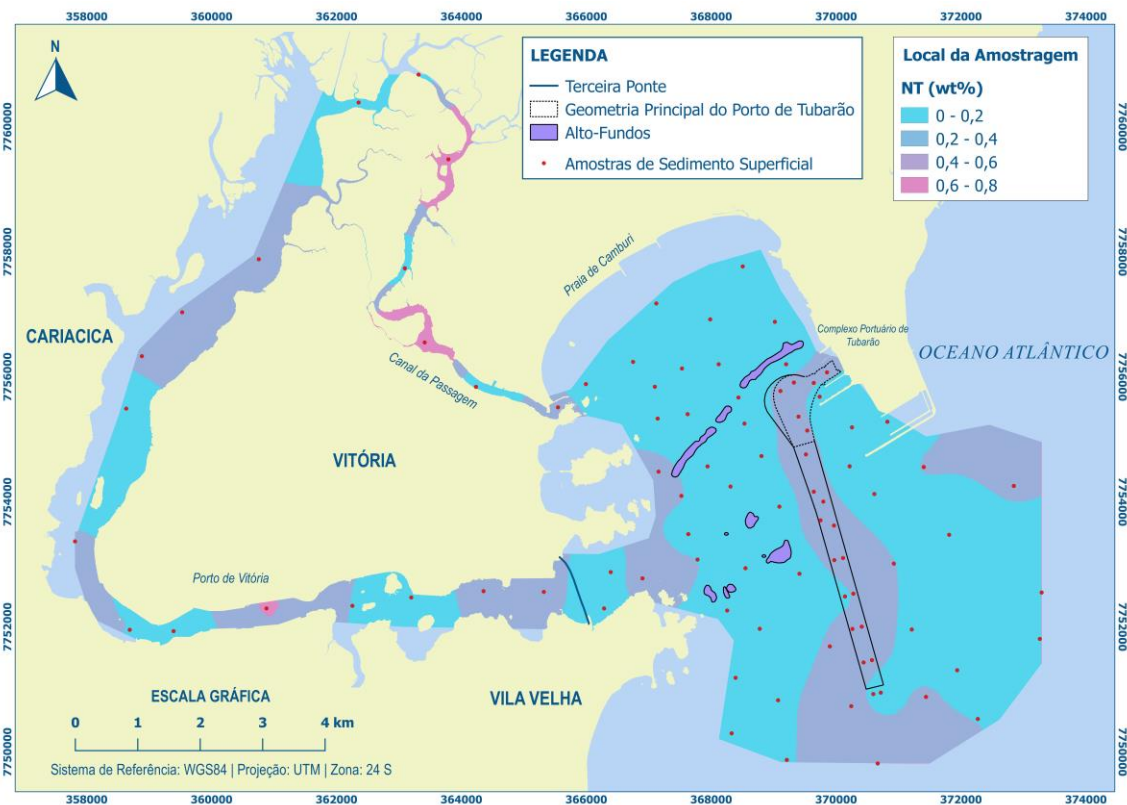


Figura 23 – Fração de massa de nitrogênio total no sedimento superficial da área de estudo.

A Razão C/N observada na área de estudo variou entre 2,3 e 137 (Fig. 24). Os maiores valores foram observados em regiões dentro do CP e BV, caracterizando locais com uma influência de aporte de MO terrígena no sedimento superficial. A região mais interna da BES também apresentou valores elevados de Razão C/N como indicio de aporte de material continental nessa área.

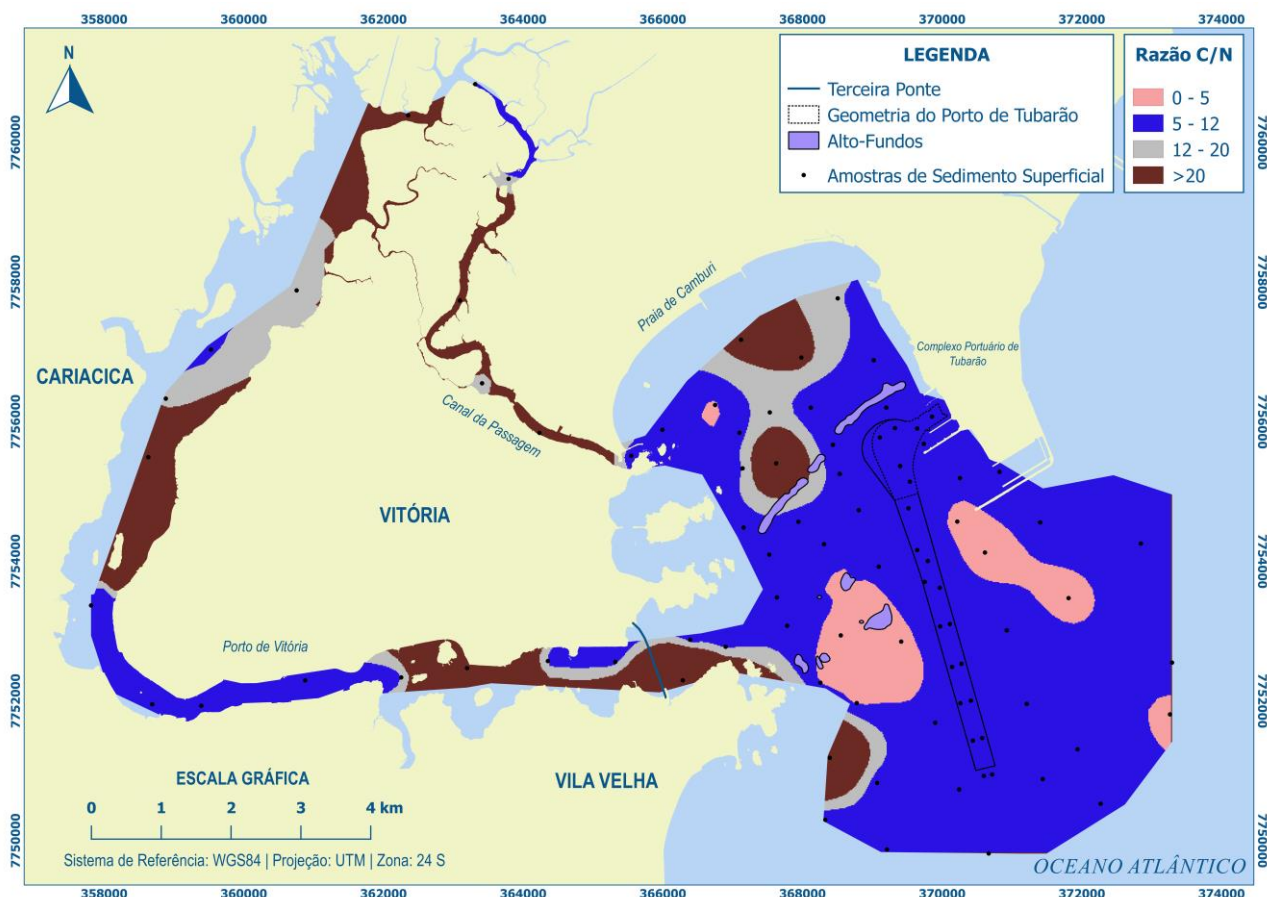


Figura 24 – Razão C/N no sedimento superficial da área de estudo.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre $-28,4\text{‰}$ e $-1,8\text{‰}$ ($n = 91$, *mediana* = $-23,67 \pm 2,9\text{‰}$), enquanto as porcentagens de $\delta^{15}\text{N}$ oscilaram entre $0,2\text{‰}$ e $20,6\text{‰}$ ($n = 91$, *mediana* = $4,8 \pm 4,4\text{‰}$). O desvio padrão para as análises isotópicas em duplicata foram de $+0,14\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ e $+0,31\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}$. Um valor discrepante de $-1,8\text{‰}$ para o isótopo estável de carbono foi observado no ponto amostral P48, localizado na área externa da BES em frente à Vila Velha (Fig. 25). Os maiores valores do isótopo estável de nitrogênio foram encontrados em algumas regiões da BV e área interna da BES (Fig. 26). A variação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no canal do Porto de Tubarão foi de $-24,42\text{‰}$ e -

21,75‰ ($n = 21, \text{mediana} = -22,4 \pm 0,7\text{‰}$) e entre 3,7% e 6% ($n = 21, \text{mediana} = 5,2 \pm 0,55\text{‰}$), respectivamente.

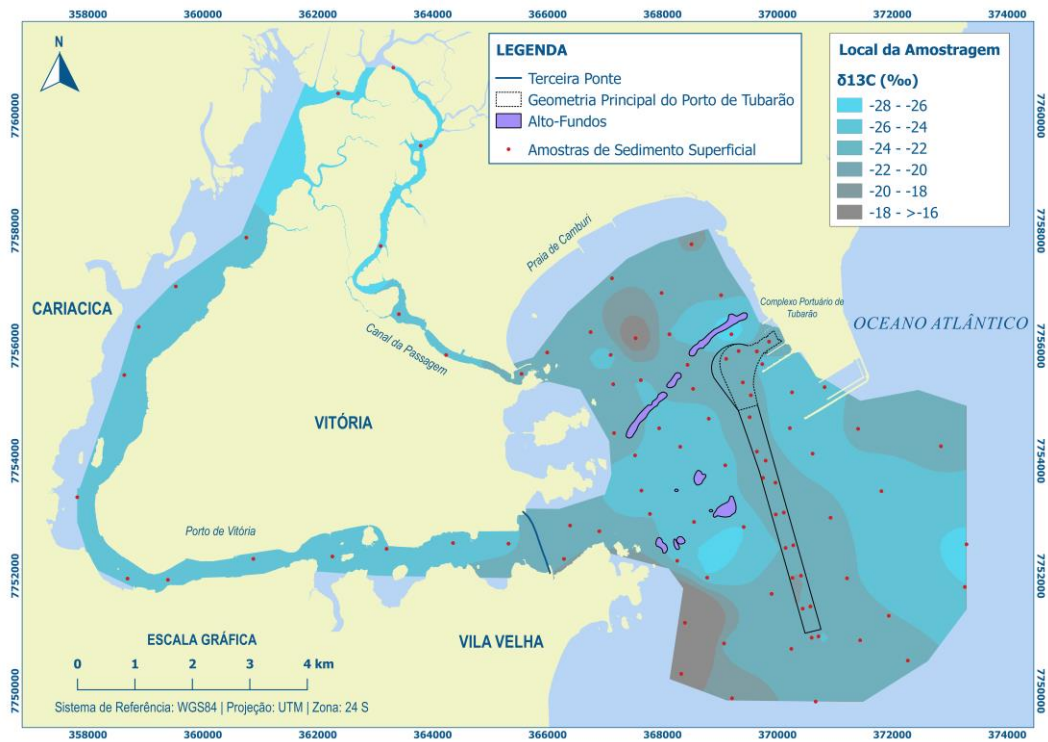


Figura 25 – Distribuição espacial dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ no sedimento superficial da área de estudo.

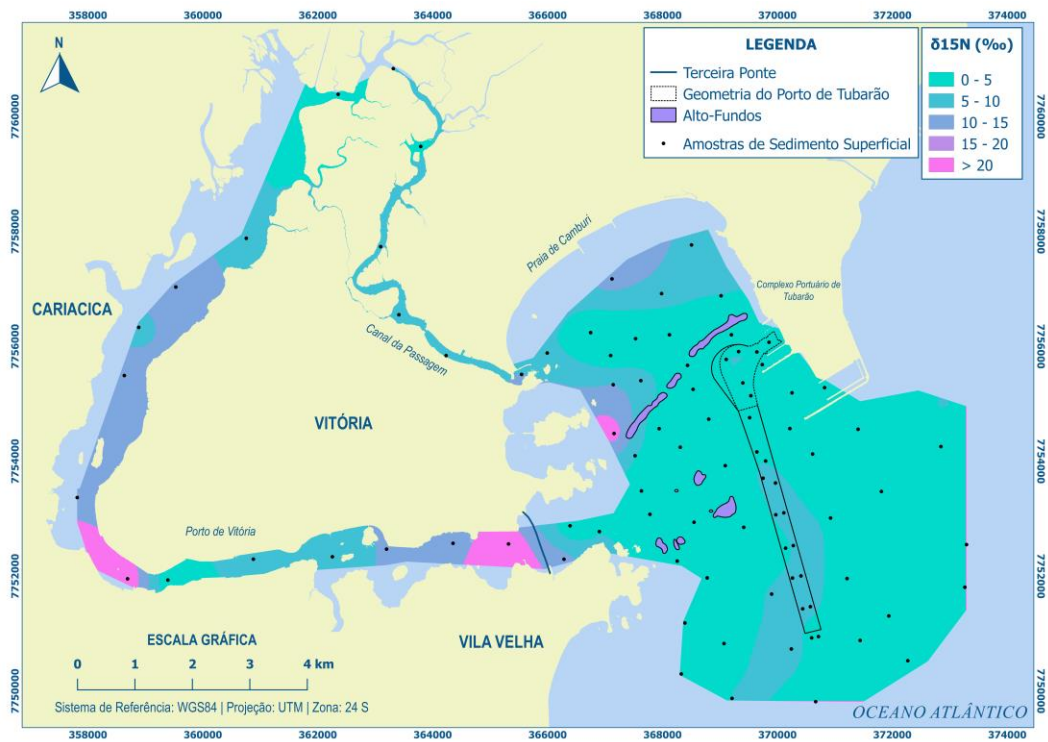


Figura 26 – Distribuição espacial dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ no sedimento superficial da área de estudo.

4. DISCUSSÃO

A distribuição do sedimento superficial na BV e BES seguiu o mesmo padrão encontrado por Veronez Júnior et al. (2009) e Bastos et al. (2014). Os sedimentos finos observados no canal do Porto de Tubarão estão associados a sua maior profundidade, em relação ao seu entorno, e tendência natural de assoreamento dessa região (Quaresma et al., 2011). A região NE da Praia de Camburi é uma área abrigada com hidrodinâmica menos energética e deposição de sedimento fino associado à corrente longitudinal resultante da praia (Albino et al., 2016). Já a lama observada à SO da área externa da BES tem maior teor de CaCO_3 e origem a partir do retrabalhamento e transporte dos biodetritos encontrados na plataforma continental adjacente (Vieira et al., 2019). Na BV e CP, a presença predominante de lama está correlacionada ao aporte terrígeno de sedimento fino, principalmente próximo à desembocadura dos rios, e floculação proporcionada pelo despejo de esgoto em áreas mais urbanizadas (Fig. 19).

As regiões próximas aos bairros Ilha das Caieiras, Maria Ortiz e Santa Martha do município de Vitória apresentaram os maiores teores de MO (> 30%) em decorrência da proximidade de áreas de conhecido aporte de esgoto (Jesus et al., 2004)(Jesus et al., 2004). Altos teores de MO (> 15%) também foram observados na região do Porto de Vitória, próximo do píer dos pescadores na Enseada do Suá, desembocadura do rio Bubu e do canal da Costa, embaixo da Terceira Ponte, e também estão associados à chegada de esgoto nessas áreas. Na BES, os teores mais altos de MO tiveram forte correlação positiva com os teores de lama, como observado por Burone et al. (2003) e Lee et al. (2019) em áreas costeiras urbanizadas (Fig. 20).

A baixa porcentagem de amostras com Razão C/N maiores que 15 (14%) evidencia a grande contribuição da região marinha na composição do sedimento superficial da área de estudo (Bordovskiy, 1965; Meyers, 1997). Os valores típicos de origem marinha estão entre 4 e 12, enquanto a matéria orgânica de origem terrestre apresenta uma razão igual ou superior a 20. Essa distinção entre as razões é função da ausência de celulose, característica de plantas vasculares terrestres ricas em carbono, em algas planctônicas e enriquecimento de proteína, abundante em nitrogênio, na sua composição. Os maiores valores de Razão C/N foram encontrados na região da BV, CP e próximo à Praia de Camburi associados aos aportes continentais de rios, águas pluviais contaminadas e esgoto.

O carbono orgânico total e o nitrogênio total estão positivamente correlacionados ($n = 91$, $r^2 = 0,8599$, $p < 0,001$) e a interseção da linha da correlação calculada é próxima à zero (Fig. 27). Portanto, pode-se assumir que o NT calculado representa uma estimativa próxima do nitrogênio orgânico e a Razão C/N calculada realmente se aproxima da razão COT/nitrogênio orgânico (Andrews et al., 1998; Liu et al., 2006), excluindo a possibilidade de um significativo controle da granulometria do sedimento superficial na distribuição de nitrogênio observado na área de estudo. A correlação apresentada entre os valores de D50 e Razão C/N no presente estudo também foi baixa (-0,219), reforçando essa análise. A moderada (>1%) a alta (>3,5%) presença de COT observada em mais de 58% das amostras analisadas, correlacionada positivamente com NT, sugere a ocorrência de impactos consideráveis na riqueza de espécies da comunidade bentônica da região (Hyland et al., 2005).

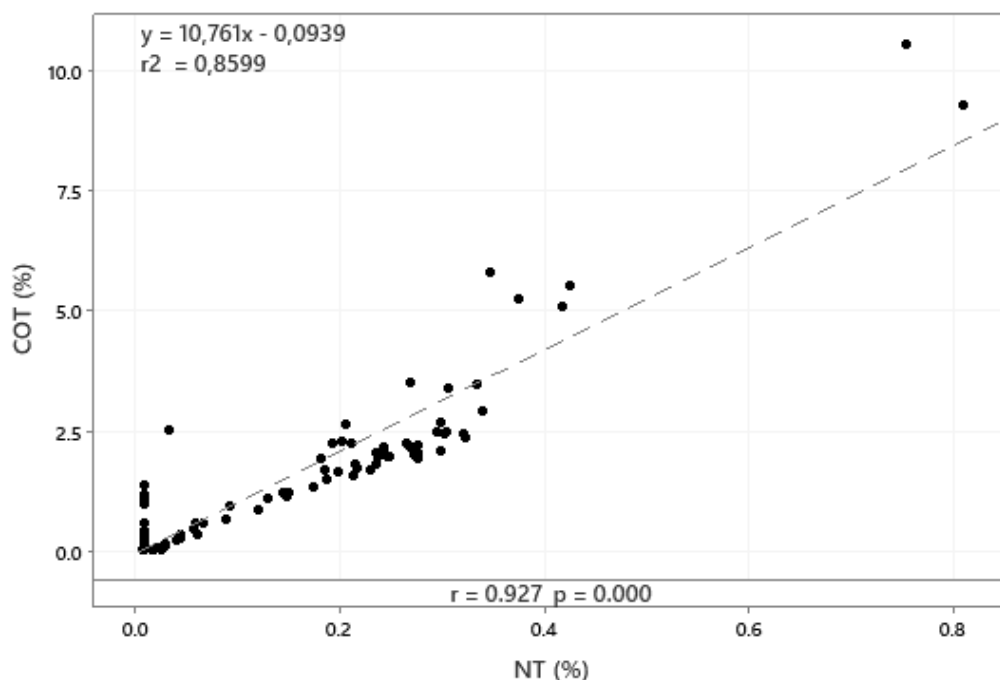


Figura 27 – Correlação entre o COT e NT encontrado no sedimento superficial da região da BES, BV e CP.

A correlação entre os valores de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio entre si e com a Razão C/N são muito utilizados na literatura como indicadores da origem da MO presente nos sedimentos (Meyers, 1997; Lamb et al., 2006). As variações do isótopo estável de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) no sedimento estão fortemente relacionadas à utilização do bicarbonato (HCO_3^-) e CO_2 dissolvido na produção primária (Benedict et al., 1980). Como

a relação entre CO_2 dissolvido e HCO_3^- é uma função do pH do ambiente, existe menos CO_2 disponível em águas marinhas, o qual é preferencialmente utilizado pelo fitoplâncton e possui menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ na sua composição (-8‰ em equilíbrio com a atmosfera), quando comparado aos valores encontrados na composição do HCO_3^- (~0‰) (Keeley e Sandquist, 1992). Portanto, o plâncton marinho terá maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ na sua composição, uma vez que necessitará consumir predominantemente HCO_3^- .

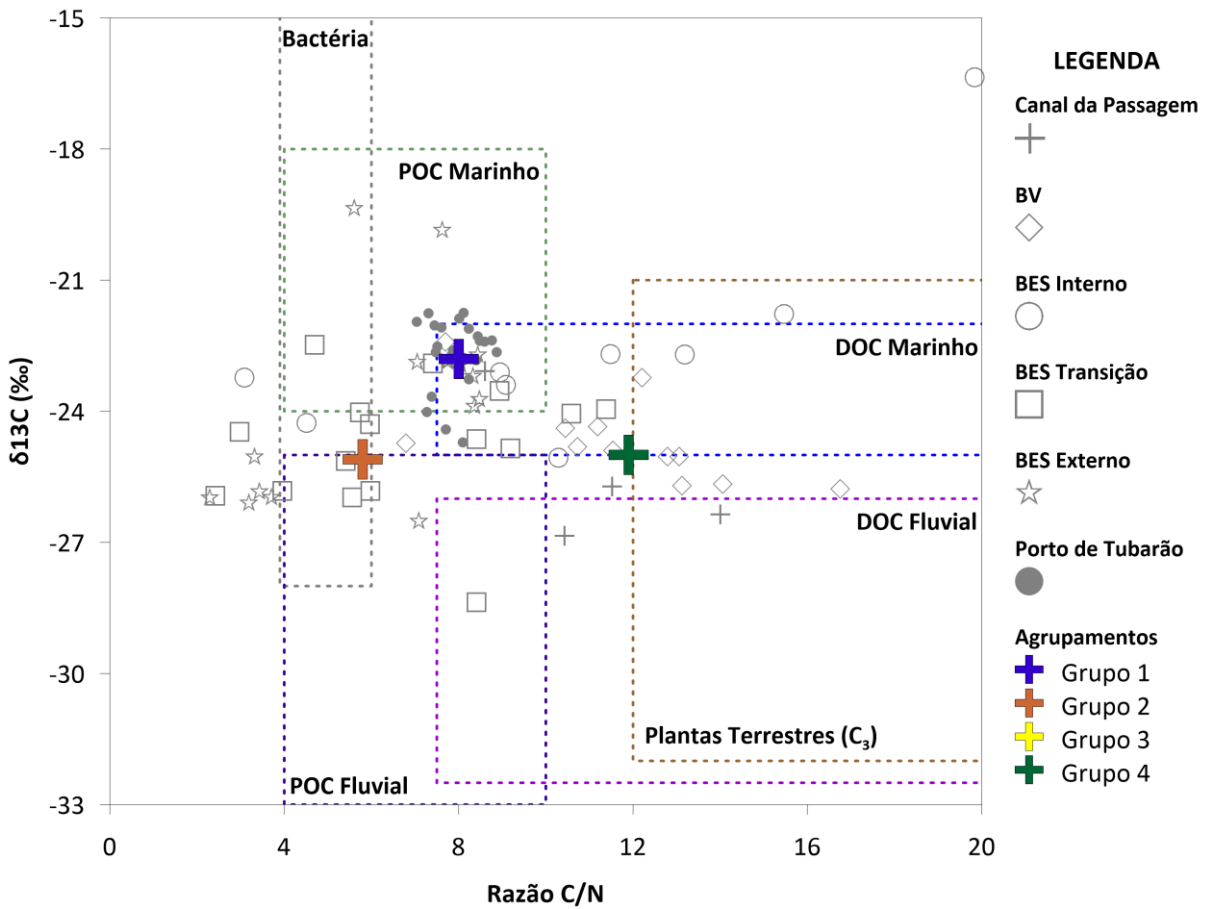


Figura 28 – Relação entre $\delta^{13}\text{C}$ e a Razão C/N no sedimento superficial da área de estudo. Amostras com valores discrepantes dos observados pela maioria (outliers) foram desconsiderados na plotagem para facilitar a visualização e interpretação. O Grupo 3 também não é apresentado na figura devido à alta mediana de Razão C/N (60,8). Adaptado de Lamb et al. (2006) Lamb et al. (2006).

Parte das regiões mais internas da BV e CP apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$, entre -30‰ e -24‰, e Razão C/N acima de 12 (PP01, P65, P90 e P66) característicos de MO com origem de plantas terrestres (C_3) e fluviais (Deines, 1980; Prahl et al., 1980). Com a aproximação da desembocadura, as amostras tenderam a apresentar um aumento nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e uma diminuição dos valores de Razão C/N (P59, P69 e PP07), devido a

maior influência marinha na MO do sedimento superficial (Fig. 28). Algumas amostras coletadas na região interna da BES, próxima à Praia de Camburi, também apresentaram sinais característicos de contribuição terrestre para o sedimento superficial com elevados valores de Razão C/N (P78, P86 e P87). Entretanto, o aumento da presença de $\delta^{13}\text{C}$ na composição da MO evidencia a maior contribuição marinha nessa região. Os valores discrepantes de Razão C/N (>60) encontrados na proximidade da Ilha da Fumaça (P70), saída do Canal da Costa (P73), bairro Santo Antônio (P84), proximidade do fundeadouro de navios (P48) e CP (PP04 e PP06), associados a valores mais baixos de $\delta^{13}\text{C}$ ($< -25\%$), sugerem a contaminação por hidrocarbonetos nessas regiões (Ghazali et al., 2004; Rumolo et al., 2011), em função da liberação de óleo em atividades ligadas a embarcações comumente presente nessas áreas e/ou escoamento de águas pluviais contaminadas.

As amostras coletadas na região de transição da BES apresentaram valores de Razão C/N entre 4 e 11 e isótopos estáveis de carbono variando entre -28% e -22% (Fig. 28). Esse fato comprova a contribuição mista da MO presente no sedimento superficial dessa região, com aporte de carbono orgânico particulado e dissolvido de origem planctônica marinha e também oriundo da mistura entre plâncton fluvial e matéria orgânica terrestre (Peterson et al., 1994; Middelburg e Nieuwenhuize, 1998; Yamaguchi et al., 2003). Os baixos valores de Razão C/N (< 4) e variação de $\delta^{13}\text{C}$ entre -27% e -24% observados próximos à desembocadura da BV, a sudoeste da BES, podem estar relacionados à grande presença de bactérias decompositoras na região, em decorrência da chegada da pluma oriunda do Canal da Costa principalmente durante as marés vazante e alta pluviosidade. Como as bactérias possuem uma composição com muita proteína, os valores de Razão C/N da sua MO tendem a ser baixos (Khan et al., 2015). O sedimento superficial coletado dentro do canal do Porto de Tubarão e na área externa da BES tiveram, em sua grande maioria, um sinal típico da presença de matéria orgânica de origem marinha, com Razão C/N entre 6 e 10 e valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -19% e -24% .

Quanto ao isótopo estável de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), os seus valores no sedimento dependem das características locais do ciclo do nitrogênio, uma vez que as variações na taxa de fixação do nitrogênio da atmosfera, mineralização, nitrificação e desnitrificação determinam o seu fracionamento isotópico (Hogberg, 1997). Parte das amostras coletadas na BV (P65, P67, P72, entre outras) e na região interna da BES (P85 e P75) apresentou altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ ($> 12\%$) característicos da contribuição de esgoto

tratado nessas áreas (Fig. 29), uma vez que as bactérias utilizadas no tratamento possuem uma preferência enzimática por N^{14} em vez de N^{15} (Savage et al., 2004). Outra parte das amostras da BV e o sedimento encontrado no CP apresentaram grande variação nos valores de $\delta^{15}N$ (entre 4 e 11‰), podendo ser caracterizados como ambientes de transição com contribuição de MO terrestre, oriundos de plantas superiores (Wada e Hattori, 1991), em um ambiente antropogenizado.

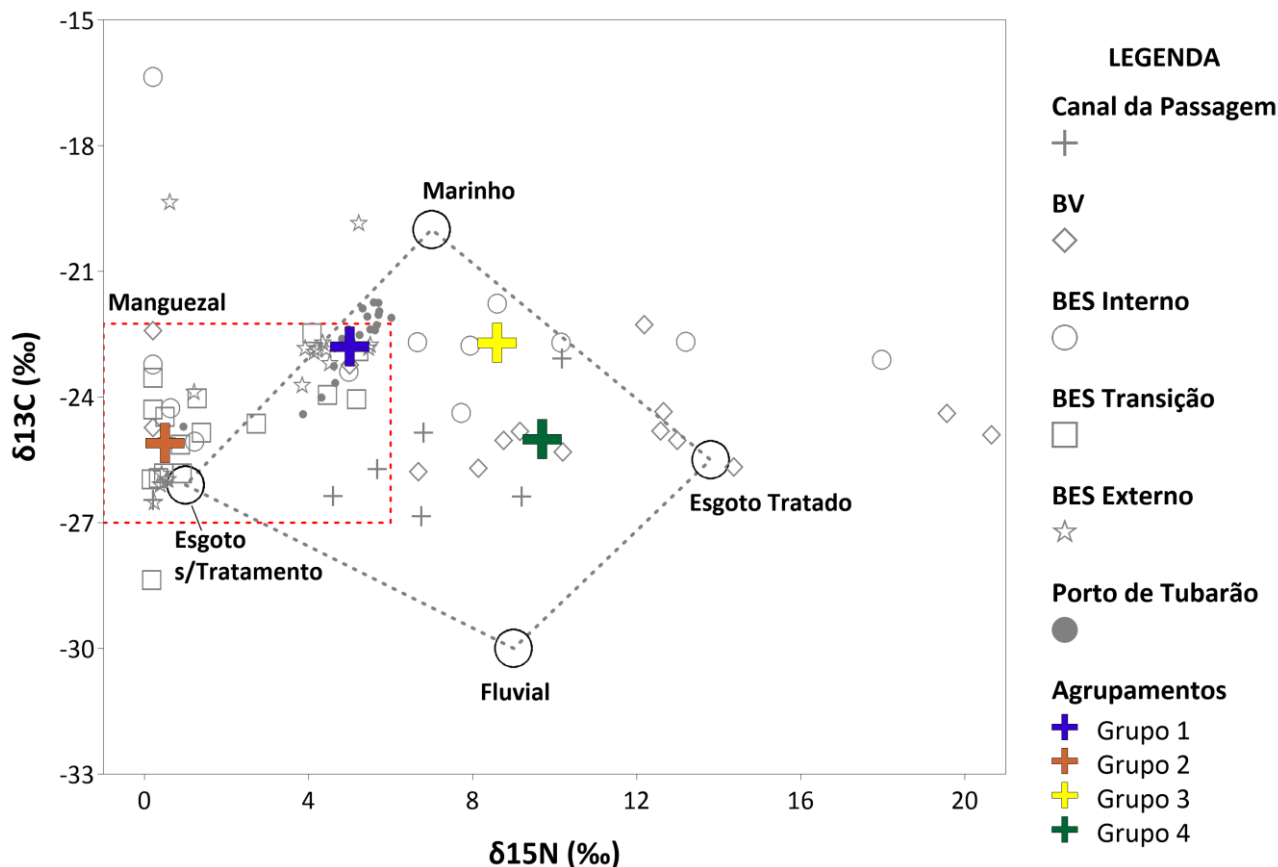


Figura 29 – Relação entre $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ no sedimento superficial da área de estudo. Amostras com valores discrepantes dos observados pela maioria (outliers) foram desconsiderados na plotagem para facilitar a visualização e interpretação. Adaptado de Middelburg e Nieuwenhuize (1998) e Rumolo et al. (2011).

Os baixos valores de $\delta^{15}N$ ($< 4‰$) observados em grande parte das amostras de sedimento coletadas na área de transição e em algumas estações da região externa da BES não condizem com o sinal típico de MO marinha ($\delta^{15}N \sim 7‰$) (Wada e Hattori, 1991). Esse fato pode estar relacionado com a presença de MO advinda de manguezais com baixos valores de isótopo estável de nitrogênio (Spano et al., 2014) e/ou esgoto sem tratamento transportado para a região a partir da BV e CP, como Rumolo et al. (2011)

também observaram em área portuária na Itália. O sedimento fino encontrado superficialmente no canal do Porto de Tubarão e a sul da BES apresentaram valores similares de $\delta^{15}\text{N}$ entre 4 e 7‰ e $\delta^{13}\text{C}$ entre -23 e -21‰, já evidenciando grande influência da MO marinha (Fig. 29).

4.1 Análise de agrupamento

Os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos analisados no sedimento superficial da área de estudo apresentaram uma boa correlação entre si (Tab. 4). Somente o isótopo estável de nitrogênio não apresentou uma correlação significativa (> 50%) com algum outro parâmetro analisado, reforçando o seu forte controle na região de estudo pela influência da MO oriunda de esgoto tratado com altos valores de $\delta^{15}\text{N}$. Como esperado, o teor de MO tendeu a se correlacionar negativamente com o D50 das amostras, indicando a sua maior presença nos sedimentos mais finos, juntamente com o aumento das porcentagens de COT e NT. A correlação positiva entre $\delta^{13}\text{C}$ e a porcentagem de CaCO_3 presente no sedimento resulta do sinal isotópico relativo a influência marinha na MO e a maior presença de organismos com conchas e carapaças na região externa da BES. A forte correlação positiva entre Razão C/N com COT (73,9%) e NT (52,3%) evidencia a grande influência antropogênica na região de estudo, principalmente nas áreas mais internas da BV e CP.

A partir da análise de agrupamento de observações (*cluster analysis*), 4 grupos de amostras claramente distintos foram formados (Fig. 30; Tab. 5). O teste MANOVA corrobora a existência de diferença estatisticamente significativa entre esses agrupamentos ($p < 0,05$). A Fig. 31 apresenta o dendograma com a similaridade entre as amostras de sedimento superficial nos agrupamentos formados e na Fig. 32, pode-se observar a distribuição espacial desses grupos na área de estudo.

Tabela 4 – Correlação não-paramétrica de Spearman realizada entre os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos analisados no sedimento superficial da área de estudo. Os números com forte correlação (> 0,5) então sublinhados, enquanto os valores com muito forte correlação (> 0,7) estão em negrito.

	Teor de Água (%)	MO (%)	CaCO3 (%)	Lama (%)	D50 (um)	NT (%)	COT (%)	Razão C/N	$\delta^{13}C$
MO (%)	<u>0.61</u>								
CaCO3 (%)	0.246	0.45							
Lama (%)	<u>0.657</u>	0.81	0.383						
D50 (um)	-0.704	-0.784	-0.367	-0.911					
NT (%)	<u>0.672</u>	0.89	0.352	0.765	-0.768				
COT (%)	<u>0.618</u>	0.867	0.439	0.741	<u>-0.683</u>	0.912			
Razão C/N	-0.008	<u>0.579</u>	0.162	0.251	-0.219	<u>0.523</u>	0.739		
$\delta^{13}C$	0.373	0.286	<u>0.595</u>	0.429	-0.456	0.436	0.255	0.01	
$\delta^{15}N$	-0.09	0.028	-0.11	-0.244	0.252	0.463	0.183	0.432	-0.194

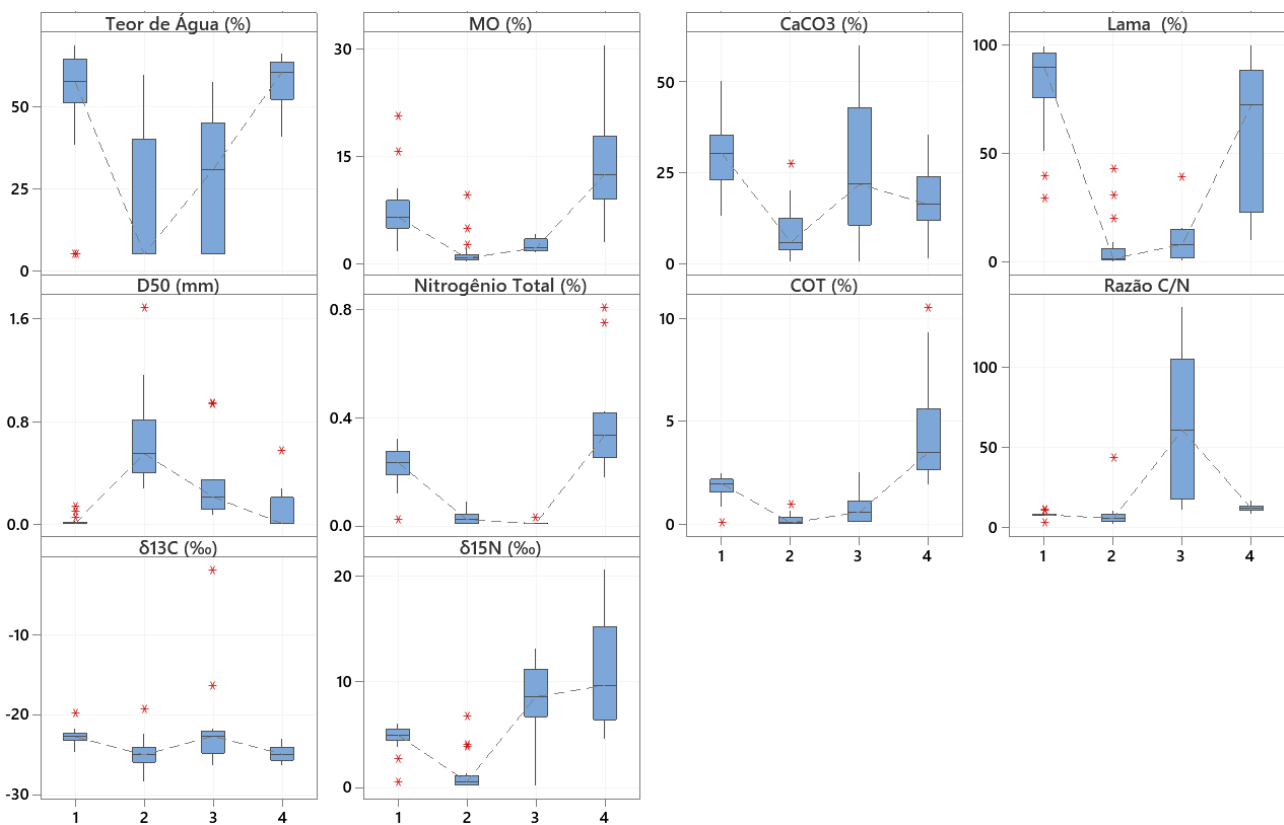


Figura 30 – Boxplot com a variação dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos para os quatro grupos formados.

Tabela 5 – Valores das medianas dos parâmetros analisados para cada grupo. Os maiores e menores valores encontrados foram deixados em negrito e sublinhados, respectivamente, para cada variável.

Grupo	Teor de Água (%)	MO (%)	CaCO ₃ (%)	Lama (%)	D50 (um)	Nitrogênio Total (%)	COT (%)	Razão C/N	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁵ N (‰)	N ^o Amostras
1	57.7	6.5	30.5	89.6	<u>8.7</u>	0.24	2.0	8.0	-22.8	5.0	36
2	<u>5.0</u>	<u>0.8</u>	<u>5.9</u>	<u>1.4</u>	552.3	0.02	<u>0.1</u>	<u>5.8</u>	<u>-25.1</u>	<u>0.5</u>	28
3	30.8	2.2	21.8	8.1	215.3	<u>0.01</u>	0.6	60.8	-22.7	8.6	13
4	60.6	12.5	16.2	72.3	9.7	0.34	3.5	11.9	-25.0	9.7	14

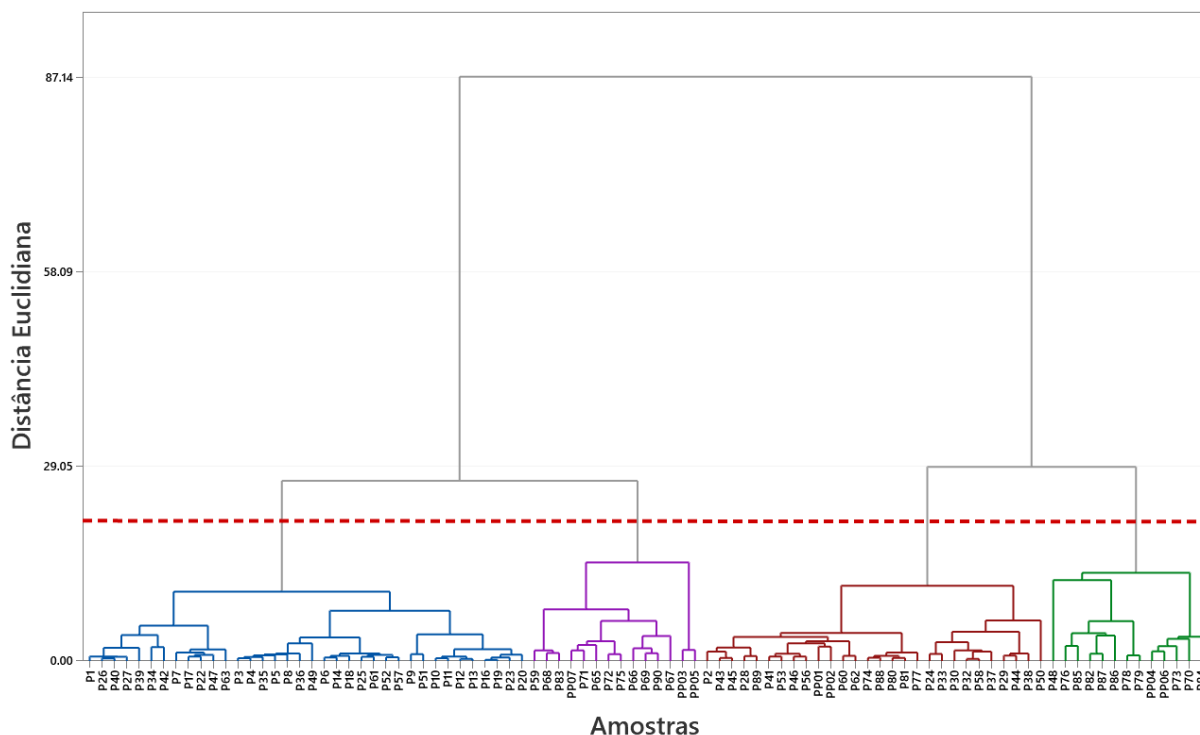


Figura 31 – Dendrograma com a distribuição das amostras nos agrupamentos formados. As linhas azuis, rosas, vermelhas e verdes representam os Grupos 1, 4, 2 e 3.

O Grupo 1 com as maiores medianas de CaCO₃ (30,5%) e lama (89,6%), bem como alta mediana de δ¹³C (-22,8‰) para a região estudada, foi observado principalmente na área externa da BES e dentro do canal do Porto de Tubarão em decorrência da grande influência marinha nessas áreas. O Grupo 2 foi encontrado ao longo de toda a área de estudo, estando principalmente presente na região de transição da BES e a norte do CP. As amostras desse grupo apresentam uma granulometria de areia média a grossa (552,3 μm) com baixa presença de MO (0,8%), COT (0,1%), CaCO₃ (5,9%), δ¹³C (-25,1‰), δ¹⁵N (0,5‰) e os menores valores de Razão C/N (5,8). Portanto, o Grupo 2 apresenta característica de sedimento terrígeno com MO de ambientes terrestres

(manguezal), quando se analisa os isótopos estáveis, também abrangendo parte da região da BES com aumento da presença de MO marinha.

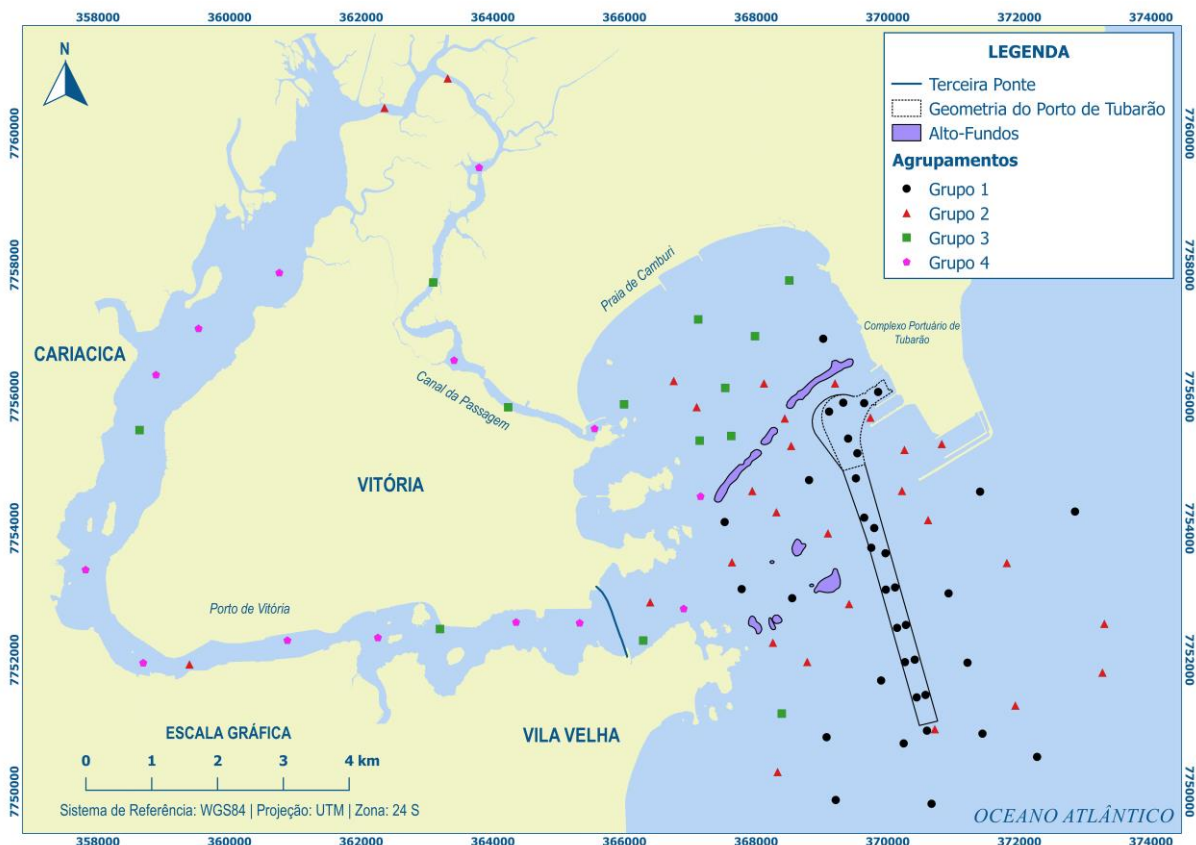


Figura 32 – Distribuição espacial dos quatro grupos na área de estudo.

O Grupo 3 ficou restrito a região interna da BES, próxima à praia de Camburi, com algumas observações pontuais na BV, CP e BES. Os altos valores de $\delta^{13}\text{C}$ ($-22,7\text{‰}$), $\delta^{15}\text{N}$ ($8,6\text{‰}$) e CaCO_3 ($21,8\%$) observados nesse grupo indicam uma grande contribuição de MO marinha. Entretanto, o alto valor de mediana de Razão C/N do Grupo 3 indica aporte de carbono antrópico em algumas regiões, com possível contaminação por hidrocarbonetos, assim como observado por Costa et al. (2015) nos sedimentos superficiais do CP. O Grupo 4 somente foi observado nas regiões internas da BV e CP. A maior presença de MO no sedimento desse grupo, acompanhado das maiores medianas de COT ($3,5\%$), NT ($0,34\%$) e $\delta^{15}\text{N}$ ($9,7\text{‰}$) evidencia a forte influência antropogênica na MO presente nesses locais.

4.2 Fontes da matéria orgânica e sedimento superficial

Os resultados obtidos na análise de agrupamento, a partir da integração dos diferentes parâmetros sedimentológicos e geoquímicos avaliados, permitiram comprovar a contribuição de diferentes fontes de MO no sedimento estudado. A alternância da presença dos Grupos 3 e 4 ao longo da maior parte da BV e CP é característica de ambientes de transição entre áreas continentais e marinhas. A interação entre o aporte fluvial e a ação das marés na região, bem como as suas consequências para a hidrodinâmica e distribuição do sedimento superficial foram discutidas por Veronez et al. (2009), Nascimento et al. (2013) e Garonce e Quaresma (2014).

O aporte de MO oriunda de ação antrópica, como esgoto e hidrocarbonetos, também foi evidente nesses ambientes internos em decorrência dos elevados valores de COT, NT e $\delta^{15}\text{N}$ nas amostras. A grande presença de $\delta^{15}\text{N}$ na BV e no CP também foi observada por Costa et al. (2015) em testemunhos e por Souza et al. (2018) em amostras próximas aos manguezais, sendo relacionada com a poluição antrópica nessas regiões internas devido à rápida urbanização das últimas décadas. Além disso, Grilo et al. (2013) também verificou o aumento do COT na parte superficial de testemunhos coletados em planícies de maré do CP, com variação na Razão C/N ao longo dos anos, em decorrência do aporte de MO terrígena e de esgoto na região. A presença do Grupo 2 (Razão C/N = 5,8, MO = 0,8%, COT = 0,1%, NT = 0,02%, $\delta^{13}\text{C}$ = -25,1‰, $\delta^{15}\text{N}$ = 0,5‰) com características isotópicas de MO terrígena ao norte da BV sugere o aporte dos manguezais bem desenvolvidos na região (Jesus et al., 2004).

A classificação de grande parte do sedimento arenoso observado na região interna da BES como Grupo 3, cujos valores para isótopos estáveis indicam influência marinha ($\delta^{13}\text{C}$ = -22,7‰; $\delta^{15}\text{N}$ = 8,6‰), parece ser uma resposta a deposição de MO de fitoplâncton marinho na região. O retrabalhamento desse sedimento a partir das trocas transversais entre a praia e a antepraia, bem como o transporte longitudinal na direção NE, promovem uma resposta de adaptação morfodinâmica da praia com transporte do sedimento e MO, afinamento da granulometria ao longo desse transporte e retenção do material nas proximidades da praia (Albino et al., 2001). A existência do alto-fundo na porção central da BES, disposto longitudinalmente à praia com profundidades mínimas de 2 m, parece ser um obstáculo que impede a troca efetiva desse sedimento mais grosso entre a área mais interna e externa da BES. No estudo de Bastos et al. (2014), o

transporte residual de fundo na região interna da BES foi em direção à praia, corroborando a observação de menor contribuição de sedimentos e MO oriunda da área próxima à Praia de Camburi para a porção central e externa, bem como para canal do Porto de Tubarão, no presente estudo.

A porção central e externa da BES apresentou uma alternância entre sedimento arenoso pertencente ao Grupo 2 e material lamoso classificado como Grupo 1. A similaridade observada, a partir da análise de agrupamentos, entre o sedimento arenoso presente nessa região da BES com as amostras coletadas mais a norte da BV (PP01 e PP02), além da ocorrência de valores mais baixos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nas amostras do Grupo 2, demonstram o aporte de sedimento e MO terrestre da BV na BES. Garonce e Quaresma (2014) também observaram exportação de MPS da BV para BES principalmente durante as vazantes de marés de sizígia no período chuvoso. Mesmo tendo uma correlação positiva com o sedimento fino, os elevados valores de COT (2%) e NT (0,24%) presentes no sedimento lamoso da porção central e externa da BES, bem como observado dentro do canal do Porto de Tubarão, também sugerem a BV como a principal fonte de MO terrestre e antrópica na BES, devido a sua similaridade com valores observados nos sedimentos finos encontrados dentro da BV (Grupo 4). Valores de COT e NT semelhantes também foram encontrados por Burone et al. (2003), Lazăr et al. (2012) e Tang et al. (2018) em regiões costeiras com grande influência de aporte de MO de origem antrópica.

Como a MO aquática de origem terrígena tende a ter muitas substâncias húmicas refratárias (Primo et al., 2011), quando comparado a MO marinha lábil composta por mais proteínas, a maior oxigenação do sedimento superficial arenoso, causado pela sua maior porosidade, tende a proporcionar uma degradação preferencial dos compostos nitrogenados marinhos e oriundos do esgoto, mantendo preservada a MO terrestre no Grupo 2. Por sua vez, a MO rica em nitrogênio advinda da BV se mantém presente no sedimento lamoso observado na BES, tornando a mistura entre o material fino terrestre com o sedimento e a MO marinha característica das lamas observadas na BES (Grupo 1). Portanto, pode-se endereçar que o sedimento fino e MO observada no canal do Porto de Tubarão são advindos principalmente da BV e região marinha adjacente à BES.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo principal a realização de análises sedimentológicas e geoquímicas no sedimento superficial da BES e adjacências, de modo a determinar a proveniência dos sedimentos finos colmatados no Porto de Tubarão. O elevado potencial de ocorrência de impactos negativos durante e após a execução de obras de dragagem, para manutenção e aprofundamento das vias navegáveis dos portos, requer um amplo conhecimento da qualidade do material dragado e da dinâmica sedimentar na região do porto, de modo a subsidiar o planejamento e gerenciamento dessas obras com a efetiva mitigação dos impactos negativos para o meio ambiente e sociedade.

A boa correlação entre os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos do sedimento superficial analisados permitiu a separação das amostras em 4 grupos estatisticamente diferentes. A partir da análise de similaridade entre as amostras e os grupos formados, classificou-se a alternância entre os Grupos 4 e 3 na BV e CP como uma característica da transição entre áreas continentais antropizadas e marinhas. Os elevados teores de MO (>12%), COT (> 3,5%), NT (0,3%) e $\delta^{15}\text{N}$ (> 9‰) e os altos valores de Razão C/N observados em grande parte da BV e CP sugerem o predomínio de sedimento terrígeno altamente antropizado na região pelo lançamento de esgoto bruto e tratado. Baixos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (< 25‰) associados a valores discrepantes de Razão C/N também foram observados na BV e CP (P70, P73, P84, PP04 e PP06) e indicam presença de efluentes contaminados por hidrocarbonetos.

Na BES, a localização restrita das amostras classificadas como Grupo 3 na porção interna da baía sugere a atuação do alto-fundo, presente na porção central da BES, como um obstáculo que impede o efetivo transporte de sedimento entre as áreas mais interna e externa. A alternância entre as amostras com granulometria mais grossa (Grupo 2) e mais fina (Grupo 1) na porção central e externa da BES indica uma clara mistura entre o sedimento terrígeno, oriundo da BV, e marinho na região. Os elevados valores de COT (~2,1%) e NT (~0,27%) presentes no sedimento lamoso dentro do canal do Porto de Tubarão (Grupo 1), ligeiramente mais baixos que os valores encontrados no Grupo 4 característico do ambiente antropizado da BV, também sugere a contribuição da MO e material fino dessa região no canal do porto.

Como sugestão futura, a busca por compostos específicos, considerados como biomarcadores pela literatura, no sedimento superficial encontrado no Porto de Tubarão seria uma importante complemento para os resultados do presente dissertação. Por exemplo, o taraxerol é um terpenóide específico do mangue, assim como o coprostanol é tido como traçador de aporte de esgoto e poderiam corroborar o aporte de MO da BV na região do porto. A análise espacial da presença desses biomarcadores no sedimento encontrado dentro da área navegável do porto também pode contribuir para a definição das principais áreas de aporte de sedimento fino e MO advinda da BV.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O completo entendimento dos processos responsáveis pelo assoreamento das regiões portuárias requer uma abordagem holística, com análise de dados ambientais históricos e complementares que abranjam minimamente a variabilidade das forçantes meteo-oceanográficas atuantes na área de estudo. Para tanto, a utilização de diferentes ferramentas e metodologias de forma integrada para estudo da hidrodinâmica, dinâmica sedimentar e disposição dos sedimentos são fundamentais para a correta interpretação dos resultados encontrados e fornecimento de importantes informações para o efetivo gerenciamento das áreas marítimas do porto. Essa dissertação abordou e discutiu o processo de assoreamento do Porto de Tubarão, a partir da análise de diferentes aspectos observados na região, conforme apresentado nos capítulos abaixo.

No Capítulo 2, uma análise espacial e temporal da hidrodinâmica atuante na BES e BV foi realizada, com o auxílio de dados complementares de pluviosidade, vazão e sedimentológicos do sedimento superficial, de modo a entender a variabilidade da taxa de assoreamento na área do Porto de Tubarão. A observação da tendência de aumento das taxas de assoreamento a partir da elevação da pluviosidade e maior frequência de atuação de ondas advindas de SE/S na BES sugere a necessidade de uma maior atenção para os períodos de verão e primavera locais, caracterizados pela maior pluviosidade histórica e chegada de frentes frias na região.

O Capítulo 3 buscou correlacionar os resultados das análises sedimentológicas clássicas com as características geoquímicas da MO associada ao sedimento superficial encontrado dentro da área do Porto de Tubarão e adjacências. A partir dos resultados, foi possível identificar a BV e região da plataforma continental adjacente à BES como as principais áreas fontes do sedimento fino depositado no porto, corroborando as observações descritas anteriormente no Capítulo 2 pela análise da hidrodinâmica e variabilidade do processo de assoreamento da região.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que o direcionamento de esforços da iniciativa privada, junto com o poder público, para aplicação de ações mitigadoras de assoreamento da BV e dos seus rios afluentes, bem como melhoria da qualidade da água e sedimento presente nesses ambientes poderá

impactar consideravelmente as taxas de assoreamento e qualidade do sedimento encontrado no Porto de Tubarão.

Por fim, os resultados e discussões apresentadas nessa dissertação evidenciam a importância do monitoramento contínuo dos parâmetros meteo-oceanográficos e de qualidade do sedimento como base para o entendimento da complexa dinâmica sedimentar observada nas regiões portuárias. Com isso, atividades portuárias como o planejamento e a execução de obras podem se tornar mais eficientes, tendo em vista a minimização dos custos e impactos negativos socioambientais associados, além de contribuir para o aumento da segurança da navegação e manutenção/ampliação da capacidade de escoamento do porto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, A. B. D. N. T. **NBR 13246: Planejamento Portuário - Aspéctos Náuticos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2017.
- AGUNWAMBA, J. C.; ONUOHA, K. C.; OKOYE, A. C. Potential effects on the marine environment of dredging of the Bonny channel in the Niger Delta. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 11, p. 6613–6625, 7 nov. 2012.
- ALBINO, J. et al. **Processos atuais de sedimentação marinha e praias do litoral de Vitória, ES**. Vitória: 2001.
- ALBINO, J. et al. Espírito Santo. In: MUEHE, D. (Ed.). **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, 2018. p. 433–477.
- ALBINO, J.; CONTTI NETO, N. OLIVEIRA, T. C. A. The beaches of Espírito Santo. In: KLEIN, A. H. F.; SHORT, A. (Eds.). **Brazilian Beach Systems Book**. Springer ed. 2016. p. 611.
- AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; ANDRADE, P. E. P. **Atlas Eólico: Espírito Santo**. Vitória: 2009.
- AMOS, C. L. et al. A rapid technique to determine bulk density of fine-grained sediments by X-ray computed tomography. **Journal of Sedimentary Research**, v. 66, n. 5, p. 1023–1024, 1 set. 1996.
- ANA, A. N. D. Á. **Guia nacional de coletas e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: 2011. Disponível em:
<<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>.
- ANDREWS, J. E.; GREENAWAY, A. M.; DENNIS, P. F. Combined carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston Harbour, Jamaica. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 46, n. 5, p. 743–756, 1998.
- ANTAQ, A. N. DE T. A. **Anuário Estatístico 2019**, 2019. Disponível em:
<<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Anuário-2019-vFinal-revisado.pdf>>
- ANTHONY, E. J. Sediment dynamics and morphological stability of estuarine mangrove swamps in Sherbro Bay, West Africa. **Marine Geology**, v. 208, n. 2–4, p. 207–224, 2004.
- ATP, A. D. T. P. P. **Movimentação de Cargas nos Terminais Portuários do Brasil – Análise do 1º Semestre de 2019**. 2019. Disponível em:
<<https://portosprivados.com.br/files/Relatorio-Semestral-01-2019.pdf>>.
- AUBREY, D. G. Hydrodynamic controls on sediment transport in well-mixed bays and estuaries. **Physics of shallow estuaries and bays**, v. 16, n. June, p. 245–258, 1986.
- BAGNOLD, R. A. Mechanics of marine sedimentation. In: HILL, M. N. (Ed.). **The Sea**. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1963. p. 507–527.
- BASTOS, A. C. et al. Modern sedimentation processes in a wave-dominated coastal embayment: Espírito Santo Bay, southeast Brazil. **Geo-Marine Letters**, v. 35, n. 1, p. 23–36, 2014.
- BENEDICT, C. R.; WONG, W. W. L.; WONG, J. H. H. Fractionation of the Stable Isotopes

- of Inorganic Carbon by Seagrasses. **Plant Physiology**, v. 65, n. 3, p. 512–517, 1 mar. 1980.
- BEST, J. The fluid dynamics of river dunes: A review and some future research directions. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 110, n. 4, p. 1–21, 2005.
- BORDOVSKIY, O. K. Accumulation of organic matter in bottom sediments. **Marine Geology**, v. 3, n. 1–2, p. 33–82, abr. 1965.
- BRIGHETTI, G.; MARTINS, J. R. S. **Estabilização e Proteção de Margens**. São Paulo: 2001. Disponível em: <http://www.pha.poli.usp.br/learq.aspx?id_arq=6592>.
- BURONE, L. et al. Spatial distribution of organic matter in the surface sediments of Ubatuba Bay (Southeastern - Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 75, n. 1, p. 77–80, mar. 2003.
- BURUAEM, L. M. et al. Contamination of port zone sediments by metals from Large Marine Ecosystems of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 3, p. 479–488, 2012.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. DE. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- CASTELLS, M. et al. SHIP MANEUVER PATTERNS TO PREVENT PROPELLER SCOURING EFFECTS. **PIANC-World Congress Panama City**, p. 15, 2018.
- CHAIT, S. Undermining of quay walls at South African ports due to the use of bow thrusters and other propeller units. **Bulletin of the Permanent International Association of Navigation Congress (PIANC)**, v. 58, p. 107–110, 1987.
- CHIEW, Y. M.; LIM, S. Y. Local scour by a deeply submerged horizontal circular jet. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 122, n. 9, p. 529–532, 1996.
- COSTA, E. S. et al. Evaluation of metals and hydrocarbons in sediments from a tropical tidal flat estuary of Southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 92, n. 1–2, p. 259–268, 2015.
- COSTA, M. S. et al. Runoff and sediment transport of portel-Melgaço water system in an Amazonian estuarine system. **Journal of Coastal Research**, v. 1, n. 75, p. 18–22, 2016.
- DA SILVA DE FREITAS, A. et al. The Holocene palaeoenvironmental evolution of Vitória Bay, Espírito Santo, Brazil. **Palynology**, v. 43, n. 3, p. 383–393, 2019.
- DEFONTAINE, S. et al. Hydrodynamics and SPM transport in an engineered tidal estuary: The Adour river (France). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 231, 2019.
- DEINES, P. The isotopic composition of reduced organic carbon. In: **The Terrestrial Environment**, A. [s.l.] Elsevier, 1980. p. 329–406.
- DELTARES. **3D/2D modelling suite for integral water solutions: Hydro-Morphodynamics**. p. 710, 2014.
- DHN, D. D. H. E. N. **NORMAN 25: Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos**. Niterói: 2017. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAN-25-REV2.pdf>>.
- DHN, D. D. H. E. N. **Tábua de Maré - Porto de Tubarão (Estado do Espírito Santo) - 2020**. Rio de Janeiro: 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br/chm/files/dados_de_mare/tubarao_2020.pdf>.

- DI LEONARDO, R. et al. Biogeochemical evaluation of historical sediment contamination in the Gulf of Palermo (NW Sicily): Analysis of pseudo-trace elements and stable isotope signals. **Journal of Marine Systems**, v. 94, p. 185–196, 2012.
- DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos: a curva granulométrica**. Faro: Universidade de Algarve, 2004.
- DYER, K. R. Sediment Transport Processes in Coastal Environments. In: PERILLO, G. M. E. (Ed.). **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**. Elsevier ed. 1995. v. 53p. 423–449.
- EZZELDIN, M. M.; RAGEH, O.; SAAD, M. E. **Navigation channel problems due to sedimentation**. Alexandria Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport, , 2019.
- FAN, Y. et al. Storm-induced hydrodynamic changes and seabed erosion in the littoral area of Yellow River Delta: A model-guided mechanism study. **Continental Shelf Research**, p. 47, 2020.
- FETTWEIS, M. et al. Monitoring the effects of disposal of fine sediments from maintenance dredging on suspended particulate matter concentration in the Belgian nearshore area (southern North Sea). **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 2, p. 258–269, 2011.
- FETTWEIS, M. et al. The impact of disposal of fine-grained sediments from maintenance dredging works on SPM concentration and fluid mud in and outside the harbor of Zeebrugge. **Ocean Dynamics**, v. 66, n. 11, p. 1497–1516, 2016.
- FOUR, I. DU; LANCKER, V. VAN. Changes of sedimentological patterns and morphological features due to the disposal of dredge spoil and the regeneration after cessation of the disposal activities. v. 255, p. 15–29, 2008.
- FRY, B.; GACE, A.; MCCLELLAND, J. W. Chemical Indicators of Anthropogenic Nitrogen-Loading in Four Pacific Estuaries. **Pacific Science**, v. 57, n. 1, p. 77–101, 2003.
- GAO, G. D. et al. The impacts of land reclamation on suspended-sediment dynamics in Jiaozhou Bay, Qingdao, China. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 206, p. 61–75, 2018.
- GAO, S.; COLLINS, M. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”. **Sedimentary Geology**, v. 81, n. 1–2, p. 47–60, nov. 1992.
- GAO, X.; YANG, Y.; WANG, C. Geochemistry of organic carbon and nitrogen in surface sediments of coastal Bohai Bay inferred from their ratios and stable isotopic signatures. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 6, p. 1148–1155, 2012.
- GARONCE, F. A. A.; QUARESMA, V. S. Hydrodynamic aspects at Vitória Bay Mouth, ES. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 555–570, 2014.
- GHAZALI, F. M. et al. Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 54, n. 1, p. 61–67, jul. 2004.
- GINSBERG, S. S.; ALIOTTA, S. Impact of a rocky outcrop on hydrodynamics and geomorphology in a mesotidal channel. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 225, n. March 2018, p. 106250, 2019.
- GNANADESIKAN, A.; WELLER, R. A. Structure and instability of the Ekman spiral in the presence of surface gravity waves. **Journal of Physical Oceanography**, v. 25, n. 12, p.

3148–3171, 1995.

GRILO, C. F. et al. Evaluation of the influence of urbanization processes using mangrove and fecal markers in recent organic matter in a tropical tidal flat estuary. **Applied Geochemistry**, v. 38, p. 82–91, 2013.

HAMILL, G. A.; JOHNSTON, H. T.; STEWART, D. P. Propeller Wash Scour near Quay Walls. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, v. 125, n. 4, p. 170–175, 1999.

HEDGES, J. I.; STERN, J. H. Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. **Limnology and Oceanography**, v. 29, n. 3, p. 657–663, maio 1984.

HOGBERG, P. Tansley Review No. 95. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, v. 137, n. 2, p. 179–203, out. 1997.

HONG, J. H.; CHIEW, Y. M.; CHENG, N. S. Scour caused by a propeller jet. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 139, n. 9, p. 1003–1012, 2013.

HOSSAIN, M. B.; MARSHALL, D. J.; VENKATRAMANAN, S. Sediment granulometry and organic matter content in the intertidal zone of the sungai brunei estuarine system, Northwest coast of Borneo. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**, v. 9, n. 2, p. 231–239, 2014.

HYLAND, J. et al. Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. **Marine Ecology Progress Series**, v. 295, n. May 2014, p. 91–103, 2005.

INCAPER, I. C. DE P. A. T. E E. R. **Série Histórica Anual de Precipitação em Estação Meteorológica de Vitória/ES**. 2020. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-vitoria>>.

IPEA, I. DE P. E. A. **Gargalos e Demandas da Infraestrutura Portuária e os Investimentos do PAC**. 2009. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5821/1/NT_n02_Gargalos-demandas-infraestrutura-portuaria_Diset_2009-set.pdf>.

JESUS, H. C. DE et al. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378–386, 2004.

JOYEUX, J. C.; CAMPANHA FILHO, E. A.; DE JESUS, H. C. Trace metal contamination in estuarine fishes from Vitória Bay, ES, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 5, p. 765–774, 2004.

KEELEY, J. E.; SANDQUIST, D. R. Carbon: freshwater plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 15, n. 9, p. 1021–1035, dez. 1992.

KHAN, N. S.; VANE, C. H.; HORTON, B. P. Stable carbon isotope and C/N geochemistry of coastal wetland sediments as a sea-level indicator. **Handbook of Sea-Level Research**, p. 295–311, 2015.

KIM, S.-C. et al. Estimating Bottom Stress in Tidal Boundary Layer from Acoustic Doppler Velocimeter Data. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 126, n. 6, p. 399–406, jun. 2000.

KIRBY, R. Minimising harbour siltation-findings of PIANC Working Group 43. **Ocean Dynamics**, v. 61, n. 2–3, p. 233–244, 2011.

LAMB, A. L.; WILSON, G. P.; LENG, M. J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material. **Earth-Science Reviews**, v. 75, n. 1–4, p. 29–57, 2006.

- LAZĂR, L. et al. Total Organic Carbon (TOC) of the surface layer sediments covering the seafloor of the Romanian Black Sea coast. **Geo-Eco-Marina**, v. 18, n. March 2018, p. 121–132, 2012.
- LE ROUX, J. P. An alternative approach to the identification of net sediment transport paths based on grain-size trends. **Sedimentary Geology**, v. 94, n. 1–2, p. 97–107, 1994.
- LEE, J. et al. Natural and anthropogenic signatures on sedimentary organic matters across varying intertidal habitats in the Korean waters. **Environment International**, v. 133, n. July, p. 105166, 2019.
- LEHRBACK, B. D. et al. Fontes e e Distribuição da Matéria Orgânica Sedimentar na Porção Noroeste da Baía de Vitória, ES. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 20, n. 1, 4 out. 2016.
- LI, M. Z.; AMOS, C. L. SEDTRANS96: The upgraded and better calibrated sediment-transport model for continental shelves. **Computers and Geosciences**, v. 27, n. 6, p. 619–645, 2001.
- LIU, M. et al. Organic carbon and nitrogen stable isotopes in the intertidal sediments from the Yangtze Estuary, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, n. 12, p. 1625–1633, 2006.
- LOUREIRO, D. V.; QUARESMA, V. S.; BASTOS, A. C. Estudo de Caso da Dragagem do Porto de Tubarão (Vitória-ES): Utilização Integrada de Dados Geofísicos e Geotécnicos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 91, p. 24–25, 2013.
- MACHADO, G. M. V. et al. Sedimentary, geochemical and micropaleontological responses to sea level variations in the vitoria Estuary, Espírito Santo. **Radiocarbon**, v. 60, n. 2, p. 583–600, 2018.
- MAHIQUES, M. M. DE. Dinâmica sedimentar atual nas enseadas da região de Ubatuba, estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 43, n. 2, p. 111–122, 1995.
- MARTIN, L. et al. Coastal Quaternary Formations of the Southern Part of the State of Espírito Santo (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3, p. 389–402, 1996.
- MARTINS, G. J. et al. Dinâmica Da Zona De Rasa De Shoaling E O Transporte De Sedimentos Na Desembocadura Sul Do Complexo Estuarino De Paranaguá – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 54, p. 51–64, 2004.
- MATHEW, R.; WINTERWERP, J. C. Sediment dynamics and transport regimes in a narrow microtidal estuary. **Ocean Dynamics**, v. 70, n. 4, p. 435–462, 2020.
- MCLAREN, P. An Interpretation of Trends in Grain Size Measures. **SEPM Journal of Sedimentary Research**, v. Vol. 51, n. 2, p. 611–624, 1981.
- MCLAREN, P.; BOWLES, D. The Effects of Sediment Transport on Grain-Size Distributions. **SEPM Journal of Sedimentary Research**, v. Vol. 55, n. 4, 1985.
- MEADE, R. H. **Landward Transport of Bottom Sediments in Estuaries of the Atlantic Coastal Plain** **SEPM Journal of Sedimentary Research**, 1969.
- MELO, E.; GONZALEZ, J. A. **Coastal Erosion at Camburi Beach (Vitoria, Brazil) and its Possible Relation to Port Works**. Proceedings of IV International conference on coastal and port engineering in developing countries - COPEDEC. **Anais...**Rio de Janeiro: 1995
- MELO, V. F. et al. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do grupo

- barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 29–41, mar. 2002.
- MENDONÇA, R. D. P.; RIBEIRO, V. A. F. **Análise da Dinâmica Sedimentar no Entorno da Ilha do Fundão , Rio de Janeiro – RJ**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, v. 27, n. 5–6, p. 213–250, nov. 1997.
- MIDDELBURG, J. J.; NIEUWENHUIZE, J. Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from the Schelde Estuary. **Marine Chemistry**, v. 60, n. 3–4, p. 217–225, 1998.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Plano Hidroviário Estratégico - Produto 1: Relatório do Plano de Trabalho**. 2012. Disponível em: <http://infraestrutura.gov.br/images/TRANSPORTE_HIDROVIARIO/PHE/PHE.pdf>.
- MUJAL-COLILLES, A. et al. Erosion caused by propeller jets in a low energy harbour basin. **Journal of Hydraulic Research**, v. 55, n. 1, p. 121–128, 2017.
- MUJAL-COLILLES, A. et al. Stern twin-propeller effects on harbor infrastructures. Experimental analysis. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 11, 2018.
- NASCIMENTO, T.; CHACALTANA, J.; PICCOLI, F. Análise da Influência do Alargamento de um Estreitamento na Hidrodinâmica do Canal da Passagem, Vitória-ES, Através de Modelagem Numérica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 31–39, 2013.
- NEUMEIER, U. et al. Sedtrans05: An improved sediment-transport model for continental shelves and coastal waters with a new algorithm for cohesive sediments. **Computers and Geosciences**, v. 34, n. 10, p. 1223–1242, 2008.
- NEVES, R. C. et al. Sedimentary transport in coastal bays: Case study of Vitória and Espírito Santo Bays - ES - Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 30, n. 2, 2012.
- NICHOLS, M. M.; BIGGS, R. B. Estuaries. In: DAVIES, R. A. (Ed.). **Coastal sedimentary environments**. Nova Iorque: Springer-Verlag, 1985. p. 77–186.
- OKADA, T.; LARCOMBE, P.; MASON, C. Estimating the spatial distribution of dredged material disposed of at sea using particle-size distributions and metal concentrations. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 8, p. 1164–1177, 2009.
- OLIVEIRA, K. S. S.; QUARESMA, V. DA S. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 78, p. 101–115, 2017.
- ORPIN, A. R. et al. Natural turbidity variability and weather forecasts in risk management of anthropogenic sediment discharge near sensitive environments. **Marine Pollution Bulletin**. v. 49, p. 602–612, 2004.
- PAPHITIS, D.; COLLINS, M. B. Sediment resuspension events within the (microtidal) coastal waters of Thermaikos Gulf, northern Greece. **Continental Shelf Research**, v. 25, n. 19–20, p. 2350–2365, 2005.
- PARENTE, C. E. et al. **Climatologia De Ondas**. [s.l.] Elsevier Editora Ltda., 2015.
- PENSIERI, S.; BOZZANO, R. Active and Passive Acoustic Methods for In-situ Monitoring of the Ocean Status. **Advances in Underwater Acoustics**, n. November, 2017.

- PEREIRA, M. D. et al. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 3, p. 427–444, 2010.
- PETERSON, B. et al. The Distribution and Stable Carbon Isotopic Composition of Dissolved Organic Carbon in Estuaries. **Estuaries**, v. 17, n. 1, p. 111, mar. 1994.
- PIANC, P. I. A. OF N. C. **Report n° 117 - Use of Hydro/Meteo Information for Port Access and Operations**. Bruxelas: PIANC, 2012.
- PIANC, P. I. A. OF N. C. **Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships. Report N° 180**. 2015.
- PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 53–70, 2010.
- POPE, N. D.; WIDDOWS, J.; BRINSLEY, M. D. Estimation of bed shear stress using the turbulent kinetic energy approach-A comparison of annular flume and field data. **Continental Shelf Research**, v. 26, n. 8, p. 959–970, 2006.
- PRAHL, F. G.; BENNETT, J. T.; CARPENTER, R. The early diagenesis of aliphatic hydrocarbons and organic matter in sedimentary particulates from Dabob Bay, Washington. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 44, n. 12, p. 1967–1976, dez. 1980.
- PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 1–13, 2011.
- QUARESMA, V. D. S. et al. Utilização de métodos geofísicos para mapeamento de lama fluida no porto de tubarão, vitória (ES-Brasil). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 3, p. 487–496, 1 set. 2011.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WLAKER, J. **Fundamentos de Física - Mecânica**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- RICHMAN, J. G.; DE SZOEKE, R. A.; DAVIS, R. E. Measurements of near-surface shear in the ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, n. C3, p. 2851, 1987.
- RUMOLO, P. et al. Stable isotopes and C/N ratios in marine sediments as a tool for discriminating anthropogenic impact. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, n. 12, p. 14, 2011.
- SALEHI, M.; STROM, K. Measurement of critical shear stress for mud mixtures in the San Jacinto estuary under different wave and current combinations. **Continental Shelf Research**, v. 47, p. 78–92, 2012.
- SANTOS, J. M. et al. Source apportionment of settleable particles in an impacted urban and industrialized region in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 27, p. 22026–22039, 2017.
- SAVAGE, C.; LEAVITT, P. R.; ELMGREN, R. Distribution and retention of effluent nitrogen in surface sediments of a coastal bay. **Limnology and Oceanography**, v. 49, n. 5, p. 1503–1511, 2004.
- SCHETTINI, C. A. F.; TRUCCOLO, E. C. Circulação do baixo estuário do Rio Itajaí. In: BRANCO, J. O.; LUNARDON-BRANCO, M. J.; BELLOTTO, V. R. (Eds.). **Estuário do Rio Itajaí-Açú, Santa Catarina: caracterização ambiental e alterações antrópicas**. Itajaí: UNIVALI, 2009. p. 13–26.

- SCHMEECKLE, M. W. et al. Turbulent structures and suspended sediment over two-dimensional dunes, in River. **Coastal and Estuarine Morphodynamics**, n. March, p. 261–270, 1990.
- SHI, B. et al. Determination of Critical Shear Stresses for Erosion and Deposition Based on In Situ Measurements of Currents and Waves over an Intertidal Mudflat. **Journal of Coastal Research**, v. 316, n. November, p. 1344–1356, 2015.
- SHI, Z.; CHEN, J. Y. Morphodynamics and sediment dynamics on intertidal mudflats in China (1961-1994). **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 15, p. 1909–1926, 1996.
- SIEGLE, E. et al. Hydrodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú estuary - Brazil: Pre jetty conditions. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 2, p. 123–135, 2009.
- SILLIMAN, J. E.; MEYERS, P. A.; BOURBONNIERE, R. A. Record of postglacial organic matter delivery and burial in sediments of Lake Ontario. **Organic Geochemistry**, v. 24, n. 4, p. 463–472, 1996.
- SIMONINI, R. et al. Effects of long-term dumping of harbor-dredged material on macrozoobenthos at four disposal sites along the Emilia-Romagna coast (Northern Adriatic Sea , Italy). v. 50, p. 1595–1605, 2005.
- SMITH, S. D. A.; RULE, M. J. The Effects of Dredge-Spoil Dumping on a Shallow Water Soft-Sediment Community in the Solitary Islands Marine Park , NSW , Australia. v. 42, n. 11, 2001.
- SOMA, S. M. A. **EIA - Estudo de impacto ambiental de pequena central hidrelétrica Timbuí Seco: rio Santa Maria da Vitória, Espírito Santo**. Cariacica. Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), 2003.
- SOULSBY, R. L. Bed shear-stresses due to combined waves and currents. In: STIVE, M. J. F. et al. (Eds.). . **Advances in Coastal Morphodynamics: An Overview of the G-8 Coastal Morphodynamics Project**. Delft: Delft Hydraulics, 1995. p. 420–423.
- SOULSBY, R. L. **Dynamics of Marine Sands: a manual for practical applications**. Londres: Thomas Telford, 1997.
- SOULSBY, R. L. Simplified calculation of wave orbital velocities. **Sand Transport in Oscillatory Flow**, n. Report TR 155, p. 12, 2006.
- SOUZA, I. DA C. et al. Interrogating pollution sources in a mangrove food web using multiple stable isotopes. **Science of the Total Environment**, v. 640–641, p. 501–511, 2018.
- SPANNO, S. et al. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter of Nova Viçosa-Caravelas estuarine complex, southern Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 44, n. 1, p. 13–21, 2014.
- STAPLETON, K. R.; HUNTLEY, D. A. Seabed stress determinations using the inertial dissipation method and the turbulent kinetic energy method. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 20, n. 9, p. 807–815, 1995.
- STOCKMANN, K. et al. On the morphological long-term development of dumped material in a low-energetic environment close to the German Baltic coast. **Journal of Marine Systems**, v. 75, n. 3–4, p. 409–420, 2009.
- STORLAZZI, C. D. et al. **Coastal Circulation and Sediment Dynamics in Maunaloa Bay, Oahu, Hawaii**. Virginia: 2010.

- STORLAZZI, C. D. et al. Sediment dynamics and the burial and exhumation of bedrock reefs along an emergent coastline as elucidated by repetitive sonar surveys: Northern Monterey Bay, CA. **Marine Geology**, v. 289, n. 1–4, p. 46–59, 2011.
- STRONKHORST, J. et al. Environmental impact and recovery at two dumping sites for dredged material in the North Sea. v. 124, p. 17–31, 2003.
- TAKI, K. **Critical shear stress for cohesive sediment transport**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2001.
- TANG, H. et al. Concentrations, Distribution, and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Daya Bay, China. **Water**, v. 10, n. 6, p. 15, 13 jun. 2018.
- TESSLER, M. G.; SOUZA, L. A. P. Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. **Rev. bras. oceanogr**, v. 46, n. 1, p. 69–83, 1998.
- THEODORO, S. H. **Mediação de conflitos socioambientais**. Rio de Janeiro: Garmond, 2005.
- VALLE-LEVINSON, A. et al. Residual exchange flows in subtropical estuaries. **Estuaries and Coasts**, v. 32, n. 1, p. 54–67, 2009.
- VAN RIJN, L. C. **Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas**. Amsterdam: Aqua publications, 1993.
- VAN RIJN, L. C. Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves . I : Initiation of Motion , Bed Roughness , and Bed-Load Transport. **Journal of Hydraulic Engineering**, n. June, p. 649–667, 2007.
- VAN RIJN, L. C. **Harbour siltation and control measures**. Disponível em: <<https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Harboursiltation2012.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2020.
- VAN RIJN, L. C. **CHANNEL SLOPES OF MUD, SILT AND SAND**. Disponível em: <<https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Channelslopesbrief2018.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2020.
- VERONEZ JÚNIOR, P.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. DA S. Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: Baía de Vitória, ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 4, p. 609–624, dez. 2009.
- VIEIRA, F. V. et al. Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. **Continental Shelf Research**, v. 187, n. August, p. 103964, 2019.
- VOUSDOUKAS, M. I. et al. Sediment Dynamics in the Bay of Marseille, Gulf of Lions (France): Hydrodynamic Forcing vs. Bed Erodibility . **Journal of Coastal Research**, v. 276, n. 5, p. 942–958, 2011.
- WADA, E.; HATTORI, A. **Nitrogen in the Sea: Forms, Abundances, and Rate Processes**. Boca Raton: CRC Press, 1991.
- WEF, W. E. F. **The Global Competitiveness Report - Special Edition 2020**. Geneva: 2020. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2020.pdf>.
- WOLANSKI, E. et al. Water and fine sediment dynamics in transient river plumes in a small, reef-fringed bay, Guam. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 56, n. 5–6, p. 1029–1040, 2003.

YAMAGUCHI, H. et al. Estimation of particulate organic carbon flux in relation to photosynthetic production in a shallow coastal area in the Seto Inland Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 47, n. 1–6, p. 18–24, jan. 2003.

YAMASHITA, S.; NARUSE, H.; NAKAJO, T. Sediment transport pathways on the modern microtidal sand flat reconstructed by the new method of sediment trend analysis (P-GSTA): Case studies of Kushida River and Obitsu River deltas, Japan. **Journal of the Sedimentological Society of Japan**, v. 70, n. 1, p. 31–36, 2011.

ZUO, L. et al. On incipient motion of silt-sand under combined action of waves and currents. **Applied Ocean Research**, v. 69, n. January 2018, p. 116–125, 2017.

ANEXO I

Tabela 6 – Resultados das análises sedimentológicas e geoquímicas no sedimento superficial do Porto de Tubarão, Vitória-ES.

Amostra	X	Y	Densidade Superficial (kg/m ³)	Teor de Água (%)	MO (%)	CaCO ₃ (%)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	D50 (um)	Nitrogênio Total (%)	COT (%)	Razão C/N	Isótopo $\delta^{13}C$	Isótopo $\delta^{15}N$
P1	370595.4	7750925.8	1047.47	0.39	3.76	35.63	0.12	38.40	61.48	30.50	0.15	1.24	8.23	-23.27	4.61
P2	370714.3	7750948.1	-	-	1.03	17.77	12.51	81.68	5.81	901.03	0.09	0.69	7.71	-24.42	3.86
P3	370439.2	7751431.4	1063.87	0.65	6.13	40.99	0.07	8.90	91.03	9.38	0.28	2.22	8.01	-21.88	5.32
P4	370573.1	7751468.6	1126.52	0.59	6.54	40.66	0.31	15.21	84.48	10.89	0.24	2.06	8.76	-22.38	5.51
P5	370260.8	7751966.8	1066.62	0.63	9.13	40.08	0.00	7.01	92.99	8.55	0.30	2.45	8.11	-21.75	5.59
P6	370409.5	7752004.0	1016.19	0.53	8.83	33.26	0.00	3.36	96.64	7.37	0.28	2.06	7.45	-22.04	5.71
P7	370141.8	7752487.3	1075.09	0.51	2.72	13.14	0.32	34.73	64.96	16.37	0.12	0.87	7.28	-24.02	4.31
P8	370275.6	7752531.9	909.17	0.56	8.86	50.30	0.00	5.86	94.14	7.24	0.24	2.08	8.59	-22.41	5.62
P9	369970.9	7753068.2	1202.27	0.67	15.70	29.45	0.02	1.27	98.71	6.83	0.27	2.24	8.44	-22.29	5.66
P10	370110.6	7753101.7	1152.21	0.64	8.14	26.60	0.09	2.00	97.91	7.01	0.30	2.10	7.04	-21.95	5.72
P11	369749.6	7753704.8	1019.07	0.60	8.01	31.29	0.00	1.82	98.18	7.22	0.32	2.36	7.31	-21.75	5.70
P12	369965.3	7753621.2	1081.12	0.60	9.13	24.33	0.00	1.04	98.96	6.36	0.30	2.50	8.24	-22.11	6.02
P13	369641.8	7754162.1	1098.81	0.61	10.10	25.23	0.00	0.78	99.22	4.78	0.30	2.51	8.48	-22.39	4.97
P14	369794.5	7754004.4	998.78	0.61	8.67	29.93	0.00	2.46	97.54	6.39	0.24	2.16	8.88	-22.65	4.96
P16	369515.8	7754759.2	966.58	0.68	8.89	20.06	0.00	4.26	95.74	5.58	0.27	2.06	7.51	-22.52	5.24
P17	369537.6	7755140.5	934.30	0.65	3.59	14.84	0.89	12.78	86.33	6.85	0.21	1.80	8.40	-22.84	4.65
P18	369397.7	7755363.5	946.43	0.69	6.80	31.71	0.02	11.29	88.69	7.29	0.25	2.00	8.11	-22.78	4.81
P19	369108.2	7755773.4	972.55	0.67	9.52	19.03	0.00	3.22	96.78	6.35	0.27	2.03	7.48	-22.64	5.05
P20	369323.5	7755908.6	964.13	0.68	6.58	19.54	0.00	0.98	99.02	5.36	0.32	2.44	7.61	-22.08	5.43
P22	369641.4	7755902.4	1112.88	0.53	3.14	13.85	0.01	25.74	74.25	8.94	0.23	1.69	7.38	-23.67	4.65
P23	369853.5	7756071.6	964.33	0.67	10.56	15.42	0.02	9.42	90.57	6.01	0.25	1.96	7.87	-22.61	4.82
P24	369736.0	7755681.7	1021.74	0.52	4.88	4.99	0.77	68.54	30.69	411.41	0.05	0.36	8.10	-24.71	0.94
P25	371438.8	7750880.5	1078.01	0.49	8.57	33.11	0.13	16.33	83.55	9.46	0.24	1.83	7.74	-22.87	4.43

Amostra	X	Y	Densidade Superficial (kg/m3)	Teor de Água (%)	MO (%)	CaCO3 (%)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	D50 (um)	Nitrogênio Total (%)	COT (%)	Razão C/N	Isótopo $\delta^{13}C$	Isótopo $\delta^{15}N$
P26	371211.3	7751958.2	1184.48	0.42	6.55	34.38	0.16	33.41	66.42	23.61	0.14	1.23	8.48	-23.73	3.85
P27	370923.9	7753012.0	1132.93	0.46	5.94	38.53	7.53	26.21	66.26	23.62	0.20	1.65	8.33	-23.20	4.51
P28	370612.5	7754125.7	-	-	0.43	3.57	4.37	94.86	0.77	1046.38	0.02	0.04	2.42	-25.94	0.35
P29	370253.3	7755191.4	1390.74	0.29	0.64	3.97	9.23	87.51	3.26	1080.99	0.01	0.04	5.56	-25.97	0.17
P30	371938.3	7751306.9	1302.85	0.41	2.15	10.44	4.30	75.70	20.01	697.96	0.06	0.48	8.37	-23.89	1.21
P32	371809.6	7753473.2	1242.89	0.49	0.52	1.21	1.64	97.24	1.13	601.15	0.02	0.07	3.43	-25.84	0.42
P33	370820.3	7755281.2	1477.85	0.40	9.59	7.09	4.64	52.64	42.72	386.79	0.07	0.61	9.19	-24.85	1.38
P34	371402.9	7754556.8	-	-	6.30	22.75	0.03	19.42	80.55	7.74	0.21	1.57	7.41	-22.90	5.23
P35	370241.9	7750732.1	600.74	0.62	6.13	47.33	0.00	14.09	85.91	18.34	0.27	2.16	8.03	-22.77	5.51
P36	369899.0	7751688.1	1024.82	0.53	3.72	42.56	0.02	19.29	80.68	15.88	0.22	1.74	8.02	-22.84	5.46
P37	369412.7	7752850.1	1042.62	0.60	1.01	16.22	6.21	92.88	0.91	537.92	0.02	0.06	3.19	-26.10	0.39
P38	369091.2	7753923.4	973.41	0.56	1.33	8.09	2.44	88.47	9.09	1074.93	0.04	0.22	5.41	-25.14	0.87
P39	368804.0	7754732.7	1379.92	0.38	1.76	28.87	0.00	70.50	29.50	103.44	0.13	1.09	8.41	-24.64	2.73
P40	369070.2	7750826.6	940.63	0.47	6.40	33.92	0.11	32.58	67.31	20.09	0.15	1.16	7.76	-22.84	3.92
P41	368776.3	7751969.6	-	-	0.72	10.20	4.84	94.66	0.51	546.29	0.03	0.06	2.29	-25.98	0.53
P42	368547.7	7752938.5	-	-	2.67	27.97	0.86	5.84	93.30	5.99	0.02	0.07	2.98	-24.47	0.49
P43	368308.2	7754244.8	-	-	0.53	13.34	9.99	88.42	1.59	684.40	0.06	0.35	5.74	-24.03	1.28
P44	367096.8	7755841.3	1327.10	0.39	0.86	5.90	3.46	88.19	8.35	1164.04	0.06	0.60	10.29	-25.07	1.22
P45	368119.2	7756201.2	-	-	0.98	13.02	0.79	98.21	1.00	558.31	0.03	0.14	4.52	-24.27	0.63
P46	369198.8	7756201.2	-	-	0.54	4.54	3.88	92.96	3.16	397.27	0.01	0.07	8.41	-28.37	0.18
P47	369018.9	7756880.1	1302.05	0.52	6.29	17.33	0.00	3.85	96.15	10.89	0.19	1.68	9.08	-23.40	4.98
P48	368389.5	7751185.2	-	-	1.60	49.11	25.88	73.48	0.64	950.74	0.03	2.53	77.44	-1.81	0.69
P49	369209.4	7749872.3	989.90	0.54	4.15	49.90	0.05	60.29	39.65	143.51	0.17	1.33	7.62	-19.86	5.22
P50	368326.1	7750297.6	-	-	1.01	20.08	40.10	59.63	0.28	1691.21	0.03	0.16	5.60	-19.36	0.61
P51	370665.3	7749815.1	879.88	0.63	20.74	27.32	0.00	6.90	93.10	7.66	0.28	1.95	7.05	-22.88	4.21
P52	372268.8	7750527.3	734.47	0.54	4.98	30.99	0.00	20.16	79.84	10.94	0.19	1.50	8.04	-22.93	4.13
P53	373261.7	7751807.4	-	-	0.49	1.31	0.50	97.73	1.77	596.92	0.03	0.10	3.70	-25.97	0.57

Amostra	X	Y	Densidade Superficial (kg/m3)	Teor de Água (%)	MO (%)	CaCO3 (%)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	D50 (um)	Nitrogênio Total (%)	COT (%)	Razão C/N	Isótopo δ13C	Isótopo δ15N
P56	373291.0	7752549.2	-	-	1.65	4.27	5.42	88.61	5.96	402.03	0.01	0.08	7.09	-26.51	0.24
P57	372845.0	7754254.5	808.69	0.56	5.63	31.11	0.00	6.02	93.98	16.98	0.24	2.00	8.44	-22.71	4.35
P58	370215.9	7754568.6	1116.13	0.57	0.33	1.60	1.59	96.01	2.40	615.96	0.02	0.09	3.96	-25.82	0.47
P59	366899.3	7752776.3	1068.71	0.59	13.90	16.72	0.00	3.57	96.43	6.87	0.42	5.09	12.21	-23.23	5.00
P60	367632.8	7753483.7	-	-	2.65	19.44	1.75	89.10	9.15	360.49	0.04	0.26	5.98	-25.83	0.92
P61	367521.8	7754095.4	1149.51	0.56	7.79	33.69	0.00	13.52	86.48	21.89	0.21	2.23	10.59	-24.06	5.17
P62	368255.1	7752261.9	-	-	0.82	27.39	2.63	96.73	0.63	410.33	0.03	0.08	3.31	-25.05	0.53
P63	367780.2	7753076.6	1009.37	0.69	5.00	25.34	0.12	48.80	51.08	57.25	0.20	2.31	11.38	-23.95	4.46
PP01	362353.0	7760388.0	1651.53	0.23	0.69	5.81	0.02	99.27	0.71	407.16	0.01	0.44	43.86	-26.45	0.21
PP02	363314.0	7760835.0	1620.30	0.23	2.16	0.62	0.37	98.61	1.02	562.81	0.09	0.96	10.43	-26.85	6.75
PP03	363791.0	7759479.0	969.39	0.66	30.54	11.99	0.00	14.28	85.72	5.81	0.75	10.54	14.00	-26.36	4.59
PP04	363094.0	7757735.0	1428.35	0.35	2.15	0.52	0.79	96.25	2.96	269.80	0.01	1.17	116.79	-26.37	9.19
PP05	363411.0	7756550.0	895.11	0.61	23.96	1.43	0.03	21.18	78.79	7.83	0.81	9.31	11.52	-25.72	5.67
PP06	364233.0	7755839.0	1018.96	0.58	3.24	4.31	8.57	87.95	3.49	341.92	0.01	0.99	98.98	-24.85	6.80
PP07	365546.0	7755512.0	988.18	0.64	9.56	32.15	0.00	37.71	62.29	22.46	0.34	2.93	8.61	-23.08	10.17
P65	359528.4	7757033.0	980.44	0.66	14.83	35.43	27.46	29.63	42.91	103.26	0.38	5.28	14.06	-25.67	14.37
P66	357812.0	7753368.0	1199.64	0.41	6.30	32.09	11.07	63.59	25.34	226.72	0.21	2.64	12.79	-25.03	12.98
P67	358688.1	7751953.4	1015.45	0.45	2.99	10.49	8.84	81.02	10.13	575.76	0.19	2.23	11.54	-24.90	20.65
P68	360878.1	7752295.7	1034.83	0.61	17.23	14.43	0.00	2.51	97.49	5.27	0.42	5.54	13.06	-25.03	8.76
P69	362253.4	7752337.2	1118.11	0.50	8.73	15.72	1.52	83.15	15.32	206.53	0.18	1.95	10.72	-24.82	9.15
P70	363196.2	7752470.5	1163.13	0.40	3.28	36.85	16.67	44.27	39.05	161.38	0.01	1.37	137.29	-25.31	10.20
P71	364353.5	7752571.4	940.07	0.61	11.92	15.77	0.98	15.56	83.46	7.98	0.31	3.42	11.19	-24.35	12.65
P72	365319.0	7752560.0	1026.73	0.63	13.09	17.91	0.01	14.91	85.08	7.59	0.33	3.49	10.44	-24.39	19.56
P73	366284.4	7752294.8	1123.41	0.31	4.12	13.56	3.40	82.36	14.25	170.86	0.01	1.10	110.14	-22.28	12.19
P74	366390.6	7752876.4	-	-	0.67	6.53	0.17	99.34	0.50	352.92	0.01	0.08	7.70	-22.42	0.21
P75	367156.0	7754483.0	852.59	0.64	10.12	21.32	0.00	0.27	99.73	6.39	0.30	2.68	8.94	-23.11	17.98
P76	367622.0	7755403.0	1183.50	0.50	2.20	7.65	1.14	90.79	8.07	284.77	0.01	0.61	60.83	-24.38	7.72

Amostra	X	Y	Densidade Superficial (kg/m3)	Teor de Água (%)	MO (%)	CaCO3 (%)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	D50 (um)	Nitrogênio Total (%)	COT (%)	Razão C/N	Isótopo δ13C	Isótopo δ15N
P77	368435.0	7755669.0	-	-	0.54	4.04	0.40	99.45	0.15	395.05	0.01	0.05	4.70	-22.48	4.08
P78	368504.0	7757766.0	-	-	3.62	53.39	0.06	84.89	15.06	81.72	0.01	0.15	15.47	-21.77	8.60
P79	367983.0	7756919.0	-	-	3.76	60.03	0.00	90.03	9.97	78.53	0.01	0.30	30.50	-22.77	7.94
P80	367941.0	7754567.0	-	-	0.29	3.84	0.49	99.44	0.07	458.35	0.01	0.06	5.96	-24.30	0.21
P81	366748.0	7756239.0	-	-	0.49	7.30	0.36	99.27	0.37	479.06	0.01	0.03	3.08	-23.23	0.21
P82	365993.0	7755884.0	-	-	1.71	21.81	0.14	99.03	0.83	355.13	0.01	0.11	11.49	-22.70	6.65
P83	360755.4	7757880.7	993.08	0.57	19.70	11.32	0.22	33.98	65.80	11.47	0.35	5.81	16.75	-25.78	6.67
P84	358632.0	7755492.0	-	-	1.84	22.15	14.92	84.27	0.82	937.08	0.01	1.00	100.03	-24.81	12.58
P85	367120.0	7757174.0	926.71	0.54	2.42	26.25	0.11	85.24	14.65	116.23	0.01	0.32	32.17	-22.69	13.20
P86	367531.0	7756133.0	887.24	0.31	1.83	17.26	0.00	93.63	6.37	215.31	0.01	0.20	19.84	-16.36	0.21
P87	367142.0	7755332.0	-	-	1.98	20.66	0.01	84.37	15.62	128.13	0.01	0.13	13.19	-22.71	10.16
P88	368532.0	7755252.0	-	-	0.52	3.69	0.08	97.34	2.58	281.12	0.01	0.09	8.94	-23.54	0.21
P89	359390.6	7751931.8	-	-	0.80	5.75	6.42	92.84	0.74	857.55	0.01	0.07	6.79	-24.73	0.21
P90	358882.5	7756330.2	938.20	0.53	9.10	18.49	40.68	44.06	15.27	279.05	0.27	3.54	13.12	-25.70	8.14
GERAL		Maior	1651.53	0.69	30.54	60.03	40.68	99.45	99.73	1691.21	0.81	10.54	137.29	-1.81	20.65
		Menor	600.74	0.23	0.29	0.52	0.00	0.27	0.07	4.78	0.01	0.03	2.29	-28.37	0.17
		Mediana	1030.78	0.56	3.76	19.03	0.16	48.80	39.65	103.26	0.15	1.33	8.37	-23.67	4.82
		Desvio	185.41	0.12	5.65	14.11	7.54	38.24	40.18	346.35	0.16	1.81	25.87	2.91	4.43
CANAL DO PORTO		Maior	1202.27	0.69	15.70	50.30	12.51	81.68	99.22	901.03	0.32	2.51	8.88	-21.75	6.02
		Menor	909.17	0.39	1.03	13.14	0.00	0.78	5.81	4.78	0.09	0.69	7.04	-24.42	3.86
		Mediana	1033.27	0.62	8.14	26.60	0.01	5.86	94.14	7.22	0.27	2.06	8.01	-22.41	5.24
		Desvio	79.56	0.07	3.30	10.42	2.72	19.13	21.45	194.79	0.06	0.49	0.54	0.72	0.55